

مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای تعیین کارایی و بازده به مقیاس زنجیره تأمین دومرحله‌ای: مطالعه موردی شرکت‌های رزین ایران

امیر رحیمی*، فرانک حسین‌زاده سلجوقی

گروه ریاضی، دانشکده ریاضی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

چکیده

رویکرد جدیدی که در سال‌های اخیر بر مدیریت عملیات حاکم شده، رویکرد مدیریت زنجیره تأمین (SCM) است. مدیریت زنجیره تأمین در سال‌های گذشته توجه زیادی از محققان را به خود جلب کرده است. این روش برای بهبود همزمان عملکرد اقتصادی، اجتماعی و محیطی تبدیل شده است. بنابراین، ارزیابی SCM یک وظیفه مهم برای هر نوع از سازمان‌هاست. در میان روش‌های ارزیابی، تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک روش مناسب برای ارزیابی SCM به نظر می‌رسد. برخی از واحدهای تصمیم‌گیرنده از چندین بخش یا مرحله تشکیل شده‌اند که یک شبکه از زیرفرآیندها را ایجاد می‌کنند. برای ارزیابی این نوع از واحدها از روش‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای استفاده می‌شود. در این مقاله، دو رویکرد برای محاسبه کارایی مدیریت زنجیره تأمین به صورت فرآیند شبکه‌ای در نظر گرفته شده است. در رویکرد نخست، تعمیم مدل مجموع وزن‌دار برای محاسبه کارایی و بازده به مقیاس زنجیره تأمین با فرآیند دومرحله‌ای را به صورت تک هدفه در نظر گرفته‌ایم. در رویکرد دوم، مدل مجموع وزن‌دار را برای اولین بار برای محاسبه کارایی و بازده به مقیاس زنجیره تأمین با فرآیند دومرحله‌ای را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه ارائه کرده‌ایم؛ لذا با توجه به نظر و علایق تصمیم‌گیرنده سعی در تک هدفه کردن آن داشته و کارایی مراحل و فرآیند تولید کل را پس از تک هدفه کردن به دست آورده‌ایم. در قسمت دیگر مقاله، با توجه به دو رویکرد ارائه‌شده، درصد تعیین بازده به مقیاس مدیریت زنجیره تأمین آمده‌ایم. روش‌های پیشنهادی، برای ارزیابی کارایی و بازده به مقیاس زنجیره تأمین در شرکت‌های تولید رزین ایران استفاده شده است. سه شرکت در هر دو رویکرد، کارایی شبکه‌ای بوده و دارای بازده به مقیاس‌های افزایشی، ثابت و کاهش‌ی هستند.

واژه‌های کلیدی: مدیریت زنجیره تأمین، تحلیل پوششی داده شبکه‌ای، کارایی، بازده به مقیاس، شرکت‌های تولید رزین.

دریافت: ۱۳۹۶/۸/۱۹ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۰

۱- مقدمه

یکی از ابزارهای مناسب و کارآمد در زمینه ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری، تحلیل پوششی داده‌ها^۱ (DEA) می‌باشد که به عنوان یک روش غیرپارامتری به منظور محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده استفاده می‌شود. فارال (۱۹۵۷) مدلی برای ارزیابی و محاسبه کارایی با ورودی‌های چندگانه و یک خروجی ارائه داد. تقریباً پس از دو دهه، چارنز، کوپر و رودرز (۱۹۸۷) این تکنیک را برای چند خروجی تعمیم دادند و آن را تحلیل پوششی داده‌ها نامیدند. در سال‌های اخیر، در اغلب کشورهای جهان، برای ارزیابی عملکرد نهادها و دیگر فعالیت‌های رایج در ارزیابی سازمان‌ها و صنایع مختلف مانند صنعت

* Corresponding author (E-mail: amirrahimi525@gmail.com)

¹ Data Envelopment Analysis

بانکداری، پست، بیمارستان‌ها، مراکز آموزشی، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و ... کاربردهای متفاوتی از تحلیل پوششی داده‌ها دیده می‌شود (کوپر، سیفورد و تون، ۲۰۰۷). سادگی فهم و اجرای روش تحلیل پوششی داده‌ها و در کنار آن، دقت بالا و کاربرد وسیع آن در زمینه‌های مختلف سیاسی، فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی باعث شده است پژوهشگران زیادی از این روش برای دست یافتن به اهداف خود استفاده کنند. اما عمده این پژوهش‌ها بر روی مدل‌های DEA یک هدفه تمرکز دارند. در مدل‌های DEA یک هدفه، تنها یک جنبه از کارایی در هر مدل مورد بررسی قرار می‌گیرد و همچنین در این مدل‌ها، امکان اعمال علایق و نظرهای تصمیم‌گیرنده^۱ (DM) در نتایج مدل‌ها وجود ندارد. واعظی و نجفی (۱۳۹۵) یک رویکرد ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و تاپسیس جهت ارزیابی نسبی شهرهای کشور جهت احداث نیروگاه خورشیدی ارائه کردند. امروزه مدل‌های DEA چندهدفه سعی دارند اهداف متعددی را به‌طور همزمان مورد توجه قرار دهند و امکان بررسی کارایی واحدهای مختلف از جنبه‌های دیگر، با استفاده از داده‌های کمی، کیفی و همچنین اعمال نظرهای DM در نتایج مدل را میسر نمایند. در مسائل تک هدفه، محدودیت‌ها همگی در جهتی حرکت می‌کنند تا تابع هدف را بهینه سازند اما در مسائل چندهدفه، هر یک از توابع هدف در صدد هستند تا محدودیت‌ها را به جهت دلخواه خود حرکت دهند و این تضاد سرمنشأ مشکلات حل مسائل چندهدفه است. دریکوند و نجفی (۱۳۹۶) از روش ترابی-هسینی، در چندهدفه تحلیل پوششی در حضور داده‌های نامطلوب و فازی استفاده کردند. در این پژوهش سعی شده با در نظر گرفتن داده‌های نامطلوب و فازی، به‌طور همزمان، مدل را به دنیای واقعی نزدیک کند. مشایخی و عمرانی (۲۰۱۵) یک مدل چندهدفه جدید را برای انتخاب پرتفوی مورد استفاده قرار دادند. مدل پیشنهادی آن‌ها ترکیبی از کارایی متقاطع تحلیل پوششی با مدل میانگین-واریانس مارکوویز بود و بازگشت، ریسک و کارایی پورتفوی را در نظر گرفت.

زنجیره تأمین شامل تعدادی تسهیل است که وظیفه آن‌ها دریافت مواد خام از تأمین‌کننده‌ها، تولید محصول و توزیع در میان مشتریان است. رشد روزافزون رقابت در زنجیره تأمین و توجه به هزینه و بازده در مدیریت زنجیره تأمین، موجب شده است تا پژوهش‌های بیشتری در این زمینه انجام گیرد. طحانیان و نیلفروشان (۱۳۹۵) به شناسایی مهم‌ترین معیارها در فرآیند تصمیم‌گیری استراتژیک بر پایه‌ی مدیریت زنجیره تأمین سبز جهت انتخاب تأمین‌کنندگان برای خرید رنگ مورد نیاز جهت اجرای خط‌کشی مناطق مختلف شهرداری اصفهان پرداختند. در این پژوهش با استفاده از معیارهای تصمیم‌گیری و همچنین با استفاده از روش TOPSIS، الویت و رتبه شرکت‌های تولیدکننده رنگ مشخص گردید. وو، چن و هیش (۲۰۱۲) مدلی به‌منظور تعیین قیمت‌ها در تعادل نش^۲ حاصل از بازی همزمان یک فروشنده و دو خریدار رقیب ارائه نمودند و نتایج را با حالت‌های مختلفی که فروشنده و خریدارها یکسانی ندارند مورد مقایسه قرار دادند. محقر، افضلیان (۱۳۹۳) به ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداختند. بها (۱۳۸۸) به بررسی روابط بین عناصر تسهیم اطلاعات و استراتژی‌های رقابتی و عملکرد زنجیره تأمین در سازمان پرداخت. به‌طور کلی زنجیره تأمین، زنجیره‌ای است که همه فعالیت‌های مرتبط با جریان کالا و تبدیل مواد، از مرحله تهیه ماده اولیه تا مرحله تحویل کالای نهایی به مصرف‌کننده را شامل می‌شود. وانگ و همکاران (۲۰۱۳) مدلی چندهدفه که شامل هزینه، میزان گاز کربن دی‌اکسید خروجی و میزان اتلاف تولید بود را برای پیدا کردن مکان بهینه تسهیلات مانند کارخانه‌های تولید محصولات جدید و تولید مجدد محصولات مراکز توزیع و بازافت و جریان بین آن‌ها ارائه دادند. در مدل مورد نظر پارامترهای استفاده‌شده به‌صورت قطعی بودند.

روش‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها در سنجش کارایی و ارزیابی عملکرد سیستم‌های شبکه‌ای به‌درستی عمل نمی‌کنند و فرایندهای درونی را نادیده می‌گیرند. مدل‌های تحلیل پوششی داده شبکه‌ای این مشکل را برطرف نموده و کارایی

^۱ Decision Maker

^۲ Nash



فرایندهای چندمرحله‌ای و ساختارهای شبکه‌ای را به خوبی محاسبه می‌کنند. کائو (۲۰۰۹) تجزیه کارایی در تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای را با یک مدل ارتباطی موردبررسی و تحلیل قرار داد. در برخی از نمونه‌ها، DMU^۱ ها ممکن است ساختار دومرحله‌ای داشته باشند. اولین مرحله، ورودی‌ها را برای تولید خروجی‌ها بکار می‌گیرد. خروجی‌های اولین مرحله به‌عنوان ورودی دومین مرحله مورداستفاده قرار می‌گیرند. خروجی‌های اولین مرحله، اندازه‌های واسطه خوانده می‌شوند. سپس دومین مرحله، اندازه‌های واسطه را برای تولید خروجی‌های خود بکار می‌گیرد. به‌هرحال، در دنیای واقعی واحدهای تصمیم‌گیری وجود دارند که در آن‌ها فرآیند تولید را می‌توان به‌صورت یک فرآیند دومرحله‌ای یا چندمرحله‌ای در نظر گرفت.

بازده به مقیاس^۲ (RTS)، اندازه‌گیری بازده نهایی یک ورودی اضافی تابع تولید را نشان می‌دهد؛ به‌عبارت‌دیگر در صورت افزایش ورودی، میزان تغییرات خروجی را نشان می‌دهد. RTS در سه حالت افزایشی، ثابت و کاهش‌ی نشان داده می‌شود. در چارچوب DEA، مقالات بسیاری در مورد تئوری و کاربردهای RTS وجود دارند. فاره و گروسکوف (۱۹۹۴) یک رویکرد جایگزین برای تعیین RTS بر اساس مدل‌های CCR^۳ و BCC^۴ ارائه کردند. خدابخشی، غلامی و خیراللهی (۲۰۱۰) یک رویکرد مدل جمعی برای برآورد بازده به مقیاس در تحلیل پوششی داده‌های مبهم ارائه کردند. کائو و هوانگ (۲۰۰۸) مدل استاندارد DEA را با در نظر گرفتن رابطه‌ی سری دومرحله‌ای با فرآیند کل، اصلاح کردند و کارایی کل فرآیند دومرحله‌ای را به‌عنوان حاصل کارایی هر یک از دو مرحله، مدل‌سازی کردند. چن و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که مدل DEA دومرحله‌ای کائو و هوانگ، برای فرض بازده به مقیاس ثابت^۵ (CRS) است و برای فرض بازده به مقیاس متغیر^۶ (VRS) کاربرد ندارد. ژانگ و یانگ (۲۰۱۵) در دو حالت، روشی را برای برآورد بازده به مقیاس فرآیند دومرحله‌ای ارائه کردند. حالت اول این است که ورودی اولیه، تغییرات را فقط برای بیشینه ساختن نسبت بین خروجی واسطه و ورودی اولیه می‌گیرد. خروجی نهایی، متناظر با تغییرات حاصل میانی تغییر می‌کند؛ یعنی مرحله‌ی اول رهبر و مرحله‌ی دوم پیرو می‌باشد. حالت دوم، یک روش جدید محاسباتی برای مقدار تغییرات از ورودی اولیه پیشنهاد شده است و رابطه‌ی RTS بین مراحل فرعی و فرآیند تولید کل بیان شده است. همچنین خالقی و همکاران (۲۰۱۲) یک رویکرد برای برآورد وضعیت بازده به مقیاس واحدهای تصمیم‌گیرنده با ساختار دومرحله‌ای بر اساس مقدار مقیاس کششی در هر یک از مراحل مختلف معرفی کردند. فرآیند دومرحله‌ای، ساده‌ترین فرآیند تولید شبکه‌ای است که به‌عنوان نماینده می‌توان نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق را به ساختار چندمرحله‌ای تعمیم داد. به‌منظور تحقق اهداف، نظریه DEA شبکه‌ای که توسط چن و همکاران ارائه شده را اتخاذ می‌کنیم (چن و همکاران، ۲۰۰۹).

بررسی تحقیقات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که در نظر گرفتن کارایی فن به‌صورت شبکه‌ی دومرحله‌ای همراه با تأثیرات زیست‌محیطی در ادبیات موجود، کمتر موردتوجه قرار گرفته است. در همه مقالات موردبررسی که به بحث تأثیرات محیطی پرداخته‌اند، تنها گاز دی‌اکسید کربن را ملاک فاکتور محیطی در نظر گرفته‌اند و سایر عوامل مانند طراحی سازگار با محیط‌زیست و اعتبار سازنده نادیده گرفته شده است. در تمام ادبیات گذشته، موضوع بازده به مقیاس که یک مفهوم اقتصادی و مهم در تحلیل پوششی داده‌هاست و میزان حداکثر افزایش خروجی به ازای افزایش ورودی را نشان می‌دهد، در زنجیره تأمین به‌صورت شبکه‌ی دومرحله‌ای و با توجه به بحث کارایی فن دومرحله‌ای نادیده گرفته شده است. همچنین در ادبیات گذشته، کارایی فن و بازده به مقیاس شبکه‌ی دومرحله‌ای به‌طور همزمان با مدل‌های چندهدفه موردتوجه قرار نگرفته است. در ادبیات گذشته، کارایی و بازده به مقیاس شبکه‌ای با تعیین کارایی و بازده به مقیاس

¹ Decision Making Unit

² Return To Scale

³ Charnes, Cooper, Roders

⁴ Banker, Charnes, Cooper

⁵ Constant Return to Scale

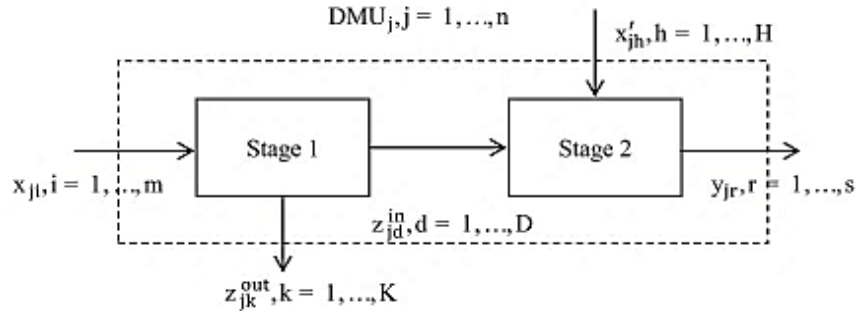
⁶ Variable Return to Scale

مراحل به صورت مجزا صورت می‌پذیرد؛ از طرفی در فرآیند تولید با ساختار چندمرحله‌ای، وضعیت RTS زمانی که ورودی تغییر کند پیچیده می‌شود. با توجه به فرآیند دومرحله‌ای، اگر هر مرحله وضعیت RTS افزایشی داشته باشند، در نتیجه افزایش ورودی اولیه، حاصل میانی افزایش یافته است که ممکن است وضعیت مرحله ۲ از RTS افزایشی به ثابت یا کاهشی تغییر کند. پژوهش حاضر به بررسی رابطه بین کارایی و بازده به مقیاس مراحل و فرآیند شبکه‌ای به طور همزمان و با توجه به مدل‌های چندهدفه آرمانی می‌پردازد. در این تحقیق، نخست مدل‌های برنامه‌ریزی خطی تک هدفه و سپس مدل‌های برنامه‌ریزی خطی چندهدفه ارائه شده که به وسیله آن‌ها کارایی فن زنجیره تأمین شرکت‌های رزین در ایران به صورت شبکه‌ای دومرحله‌ای اندازه‌گیری می‌شود. سپس با وجود متغیر آزاد، یک ارتباط نظری بین کارایی فن و بازده به مقیاس متغیر شبکه‌ای دومرحله‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد. در تمام موارد فوق سعی شده که بحث مدیریت زنجیره تأمین سبز و تأثیرات آن‌ها بر محیط‌زیست بررسی قرار گیرد. سایر بخش‌های مقاله به شرح زیر سازمان‌دهی می‌شوند: در بخش ۲، مدیریت زنجیره تأمین به صورت شبکه دومرحله‌ای شامل کارایی DEA در دو رویکرد پیشنهادی ارائه شده است. در بخش ۳، بازده به مقیاس مدیریت زنجیره تأمین را تعیین می‌کنیم. در بخش ۴، از مطالعه موردی برای نشان دادن نتایج نظری استفاده شده است و بخش ۵ نتیجه‌گیری از کار می‌باشد.

۲- مدیریت زنجیره تأمین به صورت شبکه‌ای دومرحله‌ای

در چند سال اخیر در مورد ساختار مدیریت زنجیره تأمین مطالعاتی صورت گرفته است. در این مقاله مدیریت زنجیره تأمین را به صورت شبکه دومرحله‌ای در نظر می‌گیریم که علاوه بر ورودی‌ها و خروجی‌ها، مجموعه‌ای از "اندازه واسطه" را نیز داریم که بین این دو مرحله واقع است. سیستم بانکی نمونه‌ای از فرآیندهای دومرحله‌ای می‌باشد. در اولین مرحله نیروی انسانی و سرمایه، سپرده‌هایی تولید می‌کنند و در مرحله دوم، این سپرده‌ها را برای تولید سود به کار می‌برند. ژو و سیفورد (۱۹۹۹) مدل‌های دومرحله‌ای را برای ارزیابی ۵۵ بانک آمریکایی به کار بردند. همچنین ژو (۲۰۰۰) مطالعاتی را در مورد قابلیت عرضه در بازار و سودبخشی در ۵۰۰ شرکت برتر انجام داد. سکستون و لوییز (۲۰۰۳) ساختار دومرحله‌ای را در ارزیابی اجرایی لیگ بزرگ بسکتبال به کار بردند. نمونه‌ای دیگر از کاربرد فرآیند، تولید دومرحله‌ای زنجیره تأمین می‌باشد. زنجیره تأمین مشتمل بر تمام فعالیت‌های مرتبط با جریان و تبدیل کالاها از مرحله ماده خام (استخراج) تا تحویل به مصرف‌کننده نهایی و نیز جریان‌های اطلاعاتی مرتبط با آن‌ها است. زنجیره تأمین به دلیل ماهیت شبکه‌ای یا چندمرحله‌ای مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها قادر به ارزیابی صحیح و کامل عملکرد آن‌ها نیست (فر و گرسکوف، ۲۰۰۰).

یک زنجیره تأمین با ساختار دومرحله‌ای مانند شکل ۱ را در نظر بگیرید. فرض کنید که x ($x_{ji} \in \mathbb{R}_+^m$) بردار ورودی اولیه مرحله ۱، z^{in} ($z_{jd}^{\text{in}} \in \mathbb{R}_+^D$) بردارهای خروجی مرحله ۱ باشند. مفهوم z_{jk}^{out} نشان‌دهنده‌ی خروجی مجزای مرحله ۱، و مفهوم z_{jd}^{in} نشان‌دهنده‌ی خروجی است که می‌تواند به عنوان ورودی مرحله ۲ قرار بگیرد. همچنین x' ($x'_{jh} \in \mathbb{R}_+^H$) بردار ورودی مجزای مرحله ۲، و y ($y_{jr} \in \mathbb{R}_+^R$) بردار خروجی مرحله ۲ باشد. در مجموع، فرض می‌کنیم که n تا DMU برای ارزیابی وجود دارد، و $x_0 = (x_{10}, \dots, x_{m0}) > 0$ ، $z_0^{\text{in}} = (z_{10}^{\text{in}}, \dots, z_{d0}^{\text{in}}) > 0$ ، $x'_0 = (x'_{10}, \dots, x'_{h0}) > 0$ و $y_0 = (y_{10}, \dots, y_{s0}) > 0$ را به ترتیب به عنوان بردار ورودی، بردار خروجی مجزا مرحله ۱، بردار حاصل میانی، بردار ورودی مجزا مرحله ۲ و بردار خروجی از DMU_{j0} هدف تعریف می‌کنیم.



شکل ۱- یک فرآیند دومرحله‌ای عمومی.

۱-۲ ارزیابی عملکرد مدیریت زنجیره تأمین شبکه‌ی دومرحله‌ای به صورت DEA تک‌هدفه

یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای ارزیابی کارایی مدیریت زنجیره تأمین، تحلیل پوششی داده‌ها است. استفاده از این روش در تعیین کارایی انواع ساختارهای مدیریت زنجیره تأمین می‌تواند به صورت میانگین وزنی مراحل مختلف آن انجام شود. مدل میانگین وزنی را تحت ساختار با ورودی‌ها و خروجی‌های مجزا ارائه می‌کنیم. به منظور تحقق اهداف، همان‌طور که گفته شد، در این قسمت، دو رویکرد برای ارزیابی عملکرد مدیریت زنجیره تأمین استفاده می‌کنیم. در رویکرد پیشنهادی نخست، کارایی مراحل و فرآیند تولید کل را به صورت مدل تک هدفه ارائه و حل می‌نماییم، اما در رویکرد پیشنهادی دوم، مدیریت زنجیره تأمین با شبکه دومرحله‌ای را به صورت مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای اولین بار ارائه و سپس با پیشنهادهایی به یک مدل تک هدفه تبدیل و جواب‌های بهین را به دست می‌آوریم. ابتداء رویکرد نخست را بررسی می‌کنیم. کارایی DMU_{j_0} در مرحله ۱ می‌تواند با حل مدل برنامه‌ریزی خطی زیر به دست آید:

$$\begin{aligned} \theta_o^1 = \text{Max} \quad & \sum_{d=1}^D \eta_d z_{d_0}^{in} + \sum_{k=1}^K u'_k z_{k_0}^{out} + w_0^1 \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{i_0} = 1, \\ & \sum_{d=1}^D \eta_d z_{dj}^{in} + \sum_{k=1}^K u'_k z_{kj}^{out} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + w_0^1 \leq 0, \quad j = 1, \dots, n; \\ & \eta_d, v_i, u'_k \geq 0, \quad d = 1, \dots, D; i = 1, \dots, m; k = 1, \dots, K; \\ & w_0^1 \text{ free in sign;} \end{aligned} \tag{1}$$

کارایی DMU_{j_0} در مرحله ۲ با توجه به اندازه واسطه می‌تواند با حل مدل برنامه‌ریزی خطی زیر به دست آید:

$$\begin{aligned} \theta_o^2 = \text{Max} \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{r_0} + w_0^2 \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{d=1}^D \eta_d z_{d_0}^{in} + \sum_{h=1}^H v'_h x'_{h_0} = 1, \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{d=1}^D \eta_d z_{dj}^{in} - \sum_{h=1}^H v'_h x'_{hj} + w_0^2 \leq 0, \quad j = 1, \dots, n; \\ & H_d, v'_h, u_r \geq 0, \quad d = 1, \dots, D; i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s; \end{aligned} \tag{2}$$

کارایی کلی مدل دومرحله‌ای DMU_j ، یک میانگین وزنی از کارایی مراحل است و آن را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\begin{aligned} \text{Max } \theta_o = \sum_{p=1}^2 w_p \theta_{op} \\ \text{s.t. } \theta_{jp} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n; \quad p = 1, \dots, 2, \end{aligned} \tag{3}$$

w_1 و w_2 می‌توانند معین باشند، به طوری که $w_1 + w_2 = 1$. این وزن‌ها متغیرهای تصمیم نیستند، اما بیشتر توابع متغیرهای تصمیم، منعکس‌کننده اهمیت نسبی DMU_{jo} در دو مرحله برای عملکرد کلی هستند. کوک و همکاران (۲۰۱۰) تعریف وزن w را به عنوان ورودی مرحله بر کل ورودی‌های دو مرحله تعریف کردند.

$$w_1 = \frac{\sum_{i=1}^m v_{ij}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{d=1}^D \eta_d z_{dj}^{in} + \sum_{h=1}^H v'_h x'_{hj}} ; \quad (4)$$

$$w_2 = \frac{\sum_{d=1}^D \eta_d z_{dj}^{in} + \sum_{h=1}^H v'_h x'_{hj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{d=1}^D \eta_d z_{dj}^{in} + \sum_{h=1}^H v'_h x'_{hj}} ;$$

به وسیله مدل (۴)، θ_0 در تابع هدف می‌تواند به صورت زیر بازنویسی شود:

$$\theta_0 = \frac{\sum_{d=1}^D \eta_d z_{do}^{in} + \sum_{k=1}^K u'_k z_{ko}^{out} + w_0^1 + \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} + w_0^2}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io} + \sum_{d=1}^D \eta_d z_{do}^{in} + \sum_{h=1}^H v'_h x'_{ho}}$$

اکنون با بکار بردن تبدیلات (چارنز و کوپر، ۱۹۶۲) مدل برنامه‌ریزی خطی فرآیند تولید کل به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\theta_0^* = \text{Max} \sum_{d=1}^D \eta_d z_{do}^{in} + \sum_{k=1}^K u'_k z_{ko}^{out} + w_0^1 + \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} + w_0^2$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^m v_i x_{io} + \sum_{d=1}^D \eta_d z_{do}^{in} + \sum_{h=1}^H v'_h x'_{ho} = 1,$$

$$\sum_{d=1}^D \eta_d z_{dj}^{in} + \sum_{k=1}^K u'_k z_{kj}^{out} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + w_0^1 \leq 0, \quad j = 1, \dots, n;$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{d=1}^D \eta_d z_{dj}^{in} + \sum_{h=1}^H v'_h x'_{hj} + w_0^2 \leq 0, \quad j = 1, \dots, n;$$

$$\eta_d, v'_i, u_r, u'_k \geq 0, \quad d = 1, \dots, D; i = 1, \dots, m;$$

$$r = 1, \dots, s; \quad k = 1, \dots, K; \quad w^1 \text{ and } w^2 \text{ free in sign};$$
(۵)

در ادامه رویکرد پیشنهادی برنامه‌ریزی خطی چندهدفه که برای ارزیابی عملکرد مدیریت زنجیره تأمین می‌توان استفاده نمود را بیان و بررسی می‌نماییم.

۲-۲ ارزیابی عملکرد مدیریت زنجیره تأمین شبکه‌ی دومرحله‌ای به صورت DEA چندهدفه

تاکنون مطالعه‌های بسیار زیادی در مورد مدل‌های DEA چندهدفه صورت گرفته است که سعی دارند نواقص موجود در مدل‌های DEA تک هدفه را به نوعی برطرف کنند. گلانی (۱۹۸۸) مدل DEA چندهدفه‌ای را ارائه داد که در آن، ارزیابی عملکرد، بر اساس نظر DM صورت می‌گیرد و برای حل مدل از روش فعل و انفعالی استفاده شده است. لی و ریوس (۱۹۹۹) مدل DEA چند معیاره‌ای ارائه کرده‌اند که در آن بر بهبود توزیع وزن‌های متناظر با پارامترهای خروجی و ورودی مدل‌های DEA سعی شده است. یانگ و همکاران (۲۰۰۶) ساختار مدل DEA و مدل‌های چندهدفه را مقایسه کرده‌اند و به این نتیجه دست یافته‌اند که ساختار دو مدل، مشابه و یکی مکمل دیگری است. همچنین آن‌ها مدل‌های DEA چندهدفه بر اساس محدودیت‌های مدل DEA یک هدفه ارائه کرده‌اند که در آن‌ها امکان اعمال نظرهای تصمیم‌گیرنده وجود دارد. تصمیم‌گیری چندهدفه یکی از شاخه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است. مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه همزمان، دنبال بهینه کردن چندین هدف با وجود محدودیت‌های مختلف هستند. اینک، ما ابتدا مدل‌های چندهدفه DEA شبکه‌ای را به صورت زیر در نظر می‌گیریم. در این مدل، محاسبه‌ی امتیاز کارایی هر مرحله به عنوان تابع هدف مدل در نظر گرفته می‌شود. به عبارتی دیگر در این مدل به تعداد مراحل، تابع هدف خواهیم داشت که در اینجا فرآیند تولید دومرحله‌ای را در نظر گرفته‌ایم. فرآیند دومرحله‌ای ساده‌ترین فرآیند تولید شبکه‌ای است که به عنوان نماینده می‌توان نتایج به دست آمده در این تحقیق را به ساختار چندمرحله‌ای تعمیم داد.



$$\begin{aligned} \max \theta_0^1 &= \frac{\sum_{d=1}^D \eta_d z_{do}^{in} + \sum_{k=1}^K u'_k z_{ko}^{out} + w_0^1}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \\ \max \theta_0^2 &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} + w_0^2}{\sum_{d=1}^D \eta_d z_{do}^{in} + \sum_{h=1}^H v'_h x'_{ho}} \\ \text{s. t. } 0 &\leq \frac{\sum_{d=1}^D \eta_d z_{dj}^{in} + \sum_{k=1}^K u'_k z_{kj}^{out} + w_0^1}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n; \\ 0 &\leq \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + w_0^2}{\sum_{d=1}^D \eta_d z_{dj}^{in} + \sum_{h=1}^H v'_h x'_{hj}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n; \\ \eta_d, v'_i, u_r, u'_k &\geq \varepsilon, d = 1, \dots, D; \quad i = 1, \dots, m; \\ r &= 1, \dots, s; \quad k = 1, \dots, K; \quad w^1 \text{ and } w^2 \text{ free in sign;} \end{aligned} \quad (6)$$

مدل (۶) یک مدل چندهدفه است که از داده‌های قطعی در دو مرحله به منظور ارزیابی واحدهای مختلف استفاده می‌کند. در ادامه سعی بر آن است مدل DEA چندهدفه به یک مدل تک هدفه تبدیل گردد تا امکان ارزیابی مراحل و فرآیند تولید کل فراهم شود. برای ارزیابی نسبی واحدها، نیازمند در نظر گرفتن مشخصه ماهیت ورودی و خروجی محور بودن هستیم. در مدل چندهدفه ارائه شده برای به دست آوردن واحد در مرز کارا، سعی در حداقل سازی ورودی‌ها و افزایش سطح خروجی‌ها را داریم. همان‌طور که قبلاً گفته شد، امکان در نظر گرفتن نظرها و علایق تصمیم‌گیرنده در مسائل چندهدفه وجود دارد. از این رو تصمیم‌گیرنده همیشه به‌طور مستقیم برای DMUها، امتیاز کارایی ۱ را به‌عنوان سطح معیار در نظر می‌گیرد. ما از این سطح معیار برای رسیدن به کارایی مراحل و فرآیند تولید کل با تابع چندهدفه استفاده می‌نماییم. فرض کنید بالانویس “*” روی متغیرها نشان‌دهنده مقدار بهینه متغیرها باشد. می‌خواهیم مجموعه وزن‌های بهین $(\eta_d^*, u'_k, v^*, u_r^*, v'_h, w_0^{1*}, w_0^{2*})$ را طوری تعیین کنیم که θ_0^{1*} (کارایی مرحله ۱) و θ_0^{2*} (کارایی مرحله ۲) روی سطح معیار قرار گیرند؛ به عبارت دیگر $0 < \theta_0^{1*}, \theta_0^{2*} \leq 1$. برای این منظور، با اتخاذ کاهش اندازه ورودی‌ها توسط Δ^I و افزایش خروجی‌ها توسط Δ^O ، در هر دو مرحله به‌طور همزمان سعی در رسیدن به جواب‌های بهینه و کارایی DEA شبکه‌ای را داریم.

$$\begin{aligned} \min \Delta_{10}^O + \Delta_{10}^I + \Delta_{20}^O + \Delta_{20}^I \\ \text{s. t. } \frac{\sum_{d=1}^D \eta_d z_{do}^{in} + \sum_{k=1}^K u'_k z_{ko}^{out} + w_0^1 + \Delta_{10}^O}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io} - \Delta_{10}^I} = 1, \\ \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} + w_0^2 + \Delta_{20}^O}{\sum_{d=1}^D \eta_d z_{do}^{in} + \sum_{h=1}^H v'_h x'_{ho} - \Delta_{20}^I} = 1, \\ 0 \leq \frac{\sum_{d=1}^D \eta_d z_{dj}^{in} + \sum_{k=1}^K u'_k z_{kj}^{out} + w_0^1}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n; \\ 0 \leq \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + w_0^2}{\sum_{d=1}^D \eta_d z_{dj}^{in} + \sum_{h=1}^H v'_h x'_{hj}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n; \\ \eta_d, v'_i, u_r, u'_k \geq \varepsilon, d = 1, \dots, D; \quad i = 1, \dots, m; \quad r = 1, \dots, s; \\ k = 1, \dots, K; \quad \Delta_{10}^O, \Delta_{10}^I, \Delta_{20}^O, \Delta_{20}^I \geq 0; \quad w^1 \text{ and } w^2 \text{ free in sign;} \end{aligned} \quad (7)$$

در مدل (۷)، صورت کسر را مجموع وزنی خروجی‌ها همراه با افزایش خروجی‌ها و منخرج کسر را مجموع وزنی ورودی‌ها همراه با کاهش ورودی‌ها قرار داده‌ایم. اکنون مسئله برنامه‌ریزی خطی چندهدفه به مسئله برنامه‌ریزی خطی کسری تک هدفه تبدیل شده است که تابع هدف آن برای به حداقل رساندن مجموع متغیرهایی است که سعی در کاهش ورودی‌ها و افزایش خروجی‌ها را دارند. مدل (۷) پس از تبدیلات چارنز و کوپر به مسئله برنامه‌ریزی خطی زیر تبدیل می‌شود؛ همچنین محدودیت‌های مدل بالا را خطی کرده و $\Delta_{20}^O + \Delta_{20}^I = \Delta_2$ ، $\Delta_{10}^O + \Delta_{10}^I = \Delta_1$ قرار می‌دهیم.

$$\begin{aligned}
 & \min \Delta_1 + \Delta_2 \\
 & \sum_{d=1}^D \eta_d z_{do}^{in} + \sum_{k=1}^K u'_k z_{ko}^{out} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + w_0^1 + \Delta_1 = 0, \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} - \sum_{d=1}^D \eta_d z_{do}^{in} + \sum_{h=1}^H v'_h x'_{ho} + w_0^2 + \Delta_2 = 0, \\
 & \sum_{d=1}^D \eta_d z_{dj}^{in} + \sum_{k=1}^K u'_k z_{kj}^{out} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + w_0^1 \leq 0, \quad j = 1, \dots, n; \\
 & \sum_{d=1}^D \eta_d z_{dj}^{in} + \sum_{k=1}^K u'_k z_{kj}^{out} + w_0^1 \geq 0, \quad j = 1, \dots, n; \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{d=1}^D \eta_d z_{dj}^{in} + \sum_{h=1}^H v'_h x'_{hj} + w_0^2 \leq 0, \quad j = 1, \dots, n; \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + w_0^2 \geq 0, \quad j = 1, \dots, n; \\
 & \eta_d, v'_i, u_r, u'_k \geq \varepsilon, \\
 & d = 1, \dots, D; i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s; k = 1, \dots, K; \\
 & \Delta_1 + \Delta_2 \geq 0; \quad w^1 \text{ and } w^2 \text{ free in sign;}
 \end{aligned} \tag{۸}$$

اگر $(\eta_d^*, u'_k, v^*, u_r^*, v'_h, w_0^{1*}, w_0^{2*})$ جواب‌های بهینه مدل (۸) باشند، مقادیر θ_o^{1*} و θ_o^{2*} از روابط زیر به دست می‌آید:

$$\theta_o^{1*} = \frac{\sum_{d=1}^D \eta_d^* z_{do}^{in} + \sum_{k=1}^K u'_k z_{ko}^{out} + w_0^{1*}}{\sum_{i=1}^m v_i^* x_{io}} \tag{۹}$$

$$\theta_o^{2*} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* y_{ro} + w_0^{2*}}{\sum_{d=1}^D \eta_d^* z_{do}^{in} + \sum_{h=1}^H v'_h x'_{ho}}. \tag{۱۰}$$

تعریف ۱- اگر کارایی مرحله ۱ را θ_o^{1*} و کارایی مرحله دوم را با θ_o^{2*} نشان دهیم، هرگاه $\theta_o^{1*} = 1$ و $\theta_o^{2*} = 1$ ، در این صورت مدیریت زنجیره تأمین با فرآیند دومرحله‌ای را کارای DEA شبکه‌ای می‌خوانند. با توجه به تعریف ۱، اگر $\theta_o^{1*} < 1$ و $\theta_o^{2*} < 1$ باشند، به این معنی است که DMU_j به ترتیب در مرحله ۱ و ۲ ناکاراست. همچنین کارای دومرحله‌ای است، فقط اگر تمام مراحل آن، کارا باشد.

۳- بازده به مقیاس مدیریت زنجیره تأمین

از کاربردهای مهم در تحلیل پوششی داده‌ها مشخص کردن نوع بازده به مقیاس می‌باشد. بازده به مقیاس، ارتباط بین تغییرات ورودی‌ها و خروجی‌های یک سیستم را نشان می‌دهد. یکی از توانایی‌های روش DEA، تعیین بازده به مقیاس‌های متفاوت در واحدهای سیستم است. در بازده به مقیاس ثابت، هر مضربی از ورودی‌ها همان مضرب از خروجی‌ها را تولید می‌کند. با فرض بازده به مقیاس ثابت، واحدهای کوچک و بزرگ، باهم مقایسه می‌شوند. در بازده به مقیاس متغیر، هر مضربی از ورودی‌ها، می‌تواند همان مضرب از خروجی‌ها یا کمتر از آن و یا بیشتر از آن را در خروجی‌ها تولید کند که در هر حالت، به ترتیب آن را بازده به مقیاس ثابت (CRS)، بازده به مقیاس کاهش‌ی^۱ (DRS) و بازده به مقیاس افزایشی^۲ (IRS) می‌خوانند. تعداد n واحد تصمیم‌گیری DMU با فرآیند دومرحله‌ای در نظر بگیرید. برای تعیین بازده به مقیاس واحدهای کارا حالت زیر را در نظر می‌گیریم.

¹ Decreasing Return to Scale

² Increasing Return to Scale

۳-۱ مدل ریاضی تعیین RTS در مدیریت زنجیره تأمین

با توجه به تعریف RTS به اثبات فضای ذیل جهت تعیین RTS مراحل مدیریت زنجیره تأمین شبکه‌ی دومرحله‌ای می‌پردازیم.

قضیه ۱- فرض کنید DMU_{j_0} کارای DEA شبکه‌ای است. برای مرحله ۱:

- (a) اگر $w_0^{1*} > 0$ ، پس مرحله ۱ DMU_{j_0} دارای RTS افزایشی است.
- (b) اگر $w_0^{1*} = 0$ ، پس مرحله ۱ DMU_{j_0} دارای RTS ثابت است.
- (c) اگر $w_0^{1*} < 0$ ، پس مرحله ۱ DMU_{j_0} دارای RTS کاهشی است.

اثبات: قسمت الف ضمایم را ملاحظه کنید.

قضیه ۲- فرض کنید DMU_{j_0} کارای DEA شبکه‌ای است. برای مرحله ۲:

- (a) اگر $w_0^{2*} > 0$ ، پس مرحله ۱ DMU_{j_0} دارای RTS افزایشی است.
- (b) اگر $w_0^{2*} = 0$ ، پس مرحله ۱ DMU_{j_0} دارای RTS ثابت است.
- (c) اگر $w_0^{2*} < 0$ ، پس مرحله ۱ DMU_{j_0} دارای RTS کاهشی است.

اثبات: مشابه اثبات قضیه ۱ می‌باشد.

اینک، با توجه به تعیین RTS تعیین شده در مراحل ۱ و ۲ می‌توانیم RTS فرآیند تولید کل را با توجه به قضیه زیر تعیین کنیم.

قضیه ۳- فرض کنید که DMU_{j_0} کارای DEA شبکه‌ای است. پس برای فرآیند تولید کل مراحل زیر را داریم (کوپر و همکاران، ۲۰۰۷):

- (a) مرحله ۱ IRS است و
 - i. مرحله ۲ IRS است، پس فرآیند تولید کل IRS می‌باشد.
 - ii. مرحله ۲ DRS یا CRS است، پس فرآیند تولید کل، CRS می‌باشد.
- (b) مرحله ۱ CRS است و
 - i. مرحله ۲ IRS، CRS، DRS است، پس فرآیند تولید کل CRS می‌باشد.
- (c) مرحله ۱ DRS است و
 - i. مرحله ۲ DRS است، پس فرآیند تولید کل DRS باشد.
 - ii. مرحله ۲، IRS، CRS است، پس فرآیند تولید کل CRS است.

۴- مطالعه موردی

امروزه، میلیون‌ها تن مواد شیمیایی به هوا منتشر می‌شود. مقدار قابل توجهی از مواد شیمیایی توسط شرکت‌های تولید رزین منتشر می‌شود. زنجیره تأمین پایدار، مدیریت جریان مواد، اطلاعات، سرمایه و همچنین ارتباط بین شرکت‌ها در طول زنجیره تأمین همراه با یکپارچه‌سازی اهداف، از تمام ابعاد سه‌گانه‌ی پایدار (اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی) را که



برگرفته از نیازهای مشتریان و ذی‌نفعان است، مدنظر قرار می‌دهد. در زنجیره تأمین پایدار، این اعضا هستند که معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی را به کار می‌گیرند تا بتوانند در طول زنجیره تأمین باقی بمانند؛ درعین حال، انتظار می‌رود رقابت‌مندی از طریق پاسخگویی به نیازمندی‌های مشتری و معیارهای اقتصادی مرتبط، حفظ شود. برای اندازه‌گیری پایداری و افزایش عملکرد شرکت‌های تولید رزین، در این مقاله، ۲۷ شرکت ایرانی (DMU ها) را در نظر می‌گیریم. جدول ۱ عوامل مورد استفاده در زمینه SCM^۱ را به تصویر می‌کشد. در این حالت، یک زنجیره تأمین دومارحله‌ای، از جمله عرضه (مرحله ۱) و تولیدکننده (مرحله ۲) را در نظر می‌گیریم. ورودی‌ها در مرحله عرضه، هزینه سالانه، گردش مالی سالانه کارکنان و هزینه‌های زیست‌محیطی هستند. ورودی‌ها/خروجی‌های واسطه به‌عنوان هزینه مشارکت در برنامه‌های تولید سبز و تعداد محصولات تأمین‌کننده برای تولید، و خروجی‌های مرحله تولید، تعداد کارکنان آموزش‌دیده در زمینه‌های کار، ایمنی و بهداشت، تعداد محصولات سبز و درآمد هستند.

جدول ۱- عوامل موثر در ارزیابی.

عوامل	نماد	تعریف
ورودی‌ها	x_{1j}	هزینه سالانه
	x_{2j}	گردش مالی سالانه کارکنان
	x_{3j}	هزینه‌های زیست‌محیطی
ورودی‌ها/خروجی‌های واسطه	z_{1j}	تعداد محصولات از منبع برای تولیدکننده
	z_{2j}	هزینه مشارکت در برنامه‌های تولید سبز
خروجی‌ها	y_{1j}	تعداد کارکنان آموزش‌دیده در زمینه‌های کار، ایمنی و بهداشت
	y_{2j}	تعداد محصولات سبز
	y_{3j}	درآمد

داده‌ها شامل ۲۷ تا DMU است که در جدول ۲ آورده شده است. همچنین ساختار دومارحله‌ای مورد بررسی، M4 می‌باشد. مدل‌های پژوهش حاضر با نرم‌افزار Matlab و با تولباکس بهینه‌سازی حل‌گرفته است. جدول ۳، نتایج به‌دست‌آمده از حل مدل‌های (۱)، (۲) و (۵) که مدیریت زنجیره تأمین شبکه‌ای دومارحله‌ای را با تابع تک هدفه مورد بررسی قرار داده‌اند، نشان می‌دهد. کارایی و بازده به مقیاس مراحل و فرآیند تولید کل، بدون ورودی‌ها و خروجی‌های مجزا در این جدول نشان داده شده است. با استفاده از مدل (۱)، DMU های (۲، ۳، ۴، ۶، ۱۰، ۱۳، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۲، ۲۳، ۲۷) در مرحله ۱، روی مرز کارا می‌باشند و $\theta_0^{1*} = 1$ ؛ به عبارت دیگر این DMU ها در مرحله اول کارایی فن هستند. در حالی که دیگر DMU ها با ارزیابی توسط مدل (۲)، در مرحله ۱، روی مرز کارا نبوده و $\theta_0^{1*} < 1$ می‌باشد. بر اساس مدل (۲)، DMU های (۵، ۷، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۳) در مرحله ۲، روی مرز کارا و $\theta_0^{2*} = 1$ کارایی فنی بودند را در مرحله دوم برای این DMU ها نشان می‌دهد. دیگر DMU ها در مرحله ۲، ناکارا بوده و $\theta_0^{2*} < 1$ همان ناکارایی فن برای این DMU ها می‌باشد. بر اساس تعریف ۱، DMU های (۱۰، ۱۳، ۱۸، ۲۳، ۱۹)، $\theta_0^{1*} = \theta_0^{2*} = 1$ ؛ بنابراین فرآیند تولید دومارحله‌ای در این DMU ها کارایی DEA شبکه‌ای است که با حل مدل (۵) و $\theta_0^* = 1$ صدق می‌کند.

¹ Supply Chain Management

جدول ۲- مجموعه داده‌ها.

خروجی‌ها			خروجی - ها/ورودی - های واسطه		ورودی‌ها			DMU	
Y_{rj}	Y_{rj}	Y_{rj}	Z_{rj}	Z_{rj}	X_{rj}	X_r	X_{rj}		
۴۷۶۰	۵	۱۵۸	۱۴۵	۸	۱۱۷	۰/۲	۲۹۸۲	آریا رزین	۱
۳۲۴۰	۵	۱۹۱	۱۳۵	۶	۱۰۱	۰/۵	۲۶۸۴	آذر رزین	۲
۴۸۵۰	۹	۲۱۷	۲۱۳	۱۱	۸۴	۰/۱۵	۳۷۵۳	پکا شیمی	۳
۴۱۹۰	۱۳	۲۹۵	۱۵۲	۹	۱۲۱	۰/۱	۲۹۶۱	بنیان کالا	۴
۴۷۱۰	۷	۳۳۷	۱۳۹	۵	۱۱۶	۰/۳۵	۲۷۸۹	پارس پامچال	۵
۴۵۱۰	۸	۲۶۳	۹۱	۱۴	۱۳۵	۰/۶	۲۹۵۱	رنگ سحر	۶
۴۹۳۰	۱۳	۳۳۸	۱۵۳	۸	۱۷۴	۰/۲	۲۸۵۶	تابا پوشش	۷
۴۳۵۰	۱۱	۱۹۴	۱۷۵	۱۱	۱۳۲	۰/۴۵	۲۶۵۴	پاکسان	۸
۴۱۳۰	۴	۱۷۲	۹۷	۷	۱۱۰	۰/۲	۲۹۲۱	کرین اسید.ش	۹
۳۸۶۰	۳	۳۸۷	۶۴	۱۰	۹۸	۰/۷	۲۷۲۳	البرز چلیک	۱۰
۵۱۵۷	۶	۴۱۹	۱۴۲	۱۱	۱۶۴	۰/۵	۳۹۷۵	پ.ش مبین	۱۱
۴۲۳۰	۹	۴۷۶	۱۱۸	۷	۱۳۵	۰/۶۵	۱۸۵۵	پ.ش مارون	۱۲
۵۹۷۰	۱۰	۱۱۷	۱۶۴	۱۳	۱۳۹	۰/۳	۴۱۸۶	پ.ش فجر	۱۳
۳۳۷۰	۶	۲۱۸	۱۴۳	۷	۱۱۲	۰/۲	۲۷۷۴	پتروشیمی لاله	۱۴
۴۶۷۰	۵	۱۷۶	۱۱۵	۹	۱۷۶	۰/۴۵	۲۶۵۷	خوش و kcc	۱۵
۵۱۱۰	۱۲	۱۹۷	۱۷۸	۱۲	۱۶۱	۰/۵	۳۸۵۲	رنگ آفرین	۱۶
۴۸۴۰	۹	۴۲۳	۱۲۶	۸	۹۵	۰/۱	۳۷۵۸	درسا شیمی	۱۷
۵۷۱۰	۱۲	۲۵۹	۱۱۴	۱۵	۱۵۳	۰/۳	۳۹۸۴	صنایع بوشهر	۱۸
۴۳۸۰	۹	۱۱۰	۸۹	۱۱	۷۶	۰/۵۵	۳۶۵۶	رنگ آور	۱۹
۳۸۵۰	۶	۷۳	۱۳۵	۷	۲۴۱	۰/۶	۲۸۱۴	رنگ ایران	۲۰
۵۶۵۰	۵	۱۹۸	۸۴	۹	۱۳۵	۰/۴	۳۸۸۱	کیمیا پتروماد	۲۱
۴۱۴۰	۶	۳۳۱	۱۲۴	۶	۹۲	۰/۱	۳۱۷۵	پارس	۲۲
۴۴۷۰	۸	۵۷۸	۹۷	۷	۱۶۸	۰/۵	۷۴۶	پیک شیمی	۲۳
۳۷۵۰	۵	۱۱۴	۱۱۹	۸	۱۱۴	۰/۲	۲۶۶۷	فام رزین	۲۴
۴۱۸۰	۹	۱۳۵	۱۴۲	۱۱	۱۳۹	۰/۶۵	۲۸۹۴	درین شیمی	۲۵
۴۴۶۰	۷	۲۳۸	۱۳۶	۹	۱۷۵	۰/۵	۳۶۵۱	شن پارس	۲۶
۴۲۹۰	۱۲	۱۹۴	۱۵۷	۱۳	۱۳۱	۰/۱	۱۹۵۶	رزین نیکو	۲۷

ستون چهارم جدول ۳، مقادیر w_0^{1*} و RTS مرحله ۱ را با توجه به قضیه ۱ نشان می‌دهد. DMU های ۶ و ۲۲ را در نظر بگیرید. این دو DMU طبق کارای فن بودن در مرحله اول به ترتیب دارای بازده به مقیاس IRS, DRS می‌باشند؛ همچنین ستون ششم، مقادیر w_0^{2*} ، RTS مرحله ۲ را طبق قضیه ۲ بیان می‌کند. به‌طور مثال برای DMU های کارای فن (۵،۷) در مرحله ۲، بازده به مقیاس DMU ها به ترتیب (DRS, DRS) می‌باشند. از طرفی بنا بر تعریف ۱ و قضیه ۳، برای DMU های کارای شبکه‌ای، چون (۱۰، ۱۸، ۱۹)، بازده به مقیاس، به ترتیب (CRS, DRS, IRS) است، در این DMU ها هر مضربی از ورودی‌ها همان مضرب از خروجی‌ها (CRS) ، کمتر از آن (DRS) ، و بیشتر از آن (IRS) را در خروجی‌ها تولید می‌کند.



جدول ۳- نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد صنایع تولید رزین ایران به صورت تک هدفه.

کلی	مرحله ۲		مرحله ۱		کارایی					
	RTS	w_0^{2*}	RTS	w_0^{1*}	$\theta_0^%$	θ_0^{2*}	θ_0^{1*}			
-	-	-	-	-	-	۰/۹۰۵	۰/۷۹۰	۰/۹۰۹	۱	
-	-	-	-	-	IRS	۰/۹۴۲۵	۰/۹۵۰	۰/۹۱۸	۱/۰۰۰	۲
-	-	-	-	-	DRS	-۳۱۵/۱	۰/۸۶۴	۰/۶۱۴	۱/۰۰۰	۳
-	-	-	-	-	IRS	۰/۶۱۸۲	۱/۰۰۰	۰/۹۹۸	۱/۰۰۰	۴
-	-	-	DRS	-۵/۰۲	-	-	۰/۹۳۸	۱/۰۰۰	۰/۹۲۵	۵
-	-	-	-	-	DRS	-۲/۵۰۷	۰/۹۸۰	۰/۹۷۴	۱/۰۰۰	۶
-	-	-	DRS	-۳۳۹	-	-	۰/۸۶۷	۱/۰۰۰	۰/۷۲۶	۷
-	-	-	-	-	-	-	۰/۸۷۹	۰/۷۲۷	۰/۹۵۴	۸
-	-	-	-	-	-	-	۰/۹۴۵	۰/۹۹۲	۰/۹۴۳	۹
IRS	۰/۰۲۸۸	۰/۹۳۴۷	IRS	-۰/۰۲۱	IRS	۰/۸۷۳۵	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱۰
-	-	-	DRS	-۶۴۰	-	-	۰/۸۳۳	۱/۰۰۰	۰/۶۶۲	۱۱
-	-	-	-	-	-	-	۰/۹۷۴	۰/۹۸۴	۰/۹۷۴	۱۲
DRS	-۱۰۴/۵۴	-۰/۹۸۹۶	DRS	-۴۵۶	DRS	-۴۴۲/۸	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱۳
-	-	-	-	-	-	-	۰/۹۳۶	۰/۸۲۶	۰/۹۵۹	۱۴
-	-	-	-	-	-	-	۰/۷۵۱	۰/۸۱۷	۰/۷۳۱	۱۵
-	-	-	-	-	-	-	۰/۷۵۰	۰/۷۷۵	۰/۶۹۴	۱۶
-	-	-	-	-	-	-	۰/۹۵۰	۰/۹۴۹	۱/۰۰۰	۱۷
DRS	-۶۷۵/۴	-۰/۸۲۹۸	DRS	-۶۸۹	DRS	-۳۵۰/۲	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱۸
CRS	۰/۰۱۰۳	-۰/۸۵۷۳	IRS	۰/۲۸۶	DRS	-۰/۷۵۱۷	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱۹
-	-	-	-	-	-	-	۰/۵۸۲	۰/۸۵۴	۰/۵۸۰	۲۰
-	-	-	DRS	-۱۷/۴۶	-	-	۰/۷۴۷	۱/۰۰۰	۰/۷۳۸	۲۱
-	-	-	-	-	IRS	۰/۹۳۹۸	۰/۹۸۴	۰/۹۷۰	۱/۰۰۰	۲۲
CRS	-۴۴۰/	۰/۸۹۵۲	DRS	-۲۲۹	IRS	۰/۶۴۳۹	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۲۳
-	-	-	-	-	-	-	۰/۹۵۳	۰/۸۳۸	۰/۹۶۳	۲۴
-	-	-	-	-	-	-	۰/۸۱۷	۰/۷۲۵	۰/۸۲۸	۲۵
-	-	-	-	-	-	-	۰/۶۵۴	۰/۷۴۷	۰/۶۵۰	۲۶
-	-	-	-	-	DRS	-۸۶/۳۲	۰/۸۷۵	۰/۸۱۷	۱/۰۰۰	۲۷



جدول ۴، مقادیر بهینه به دست آمده از مدل (۸) که با دیدگاه آرمانی و به صورت تابع چندهدفه برای تعیین RTS و قرار دادن در مدل (۹) و (۱۰) برای اندازه‌گیری کارایی فن مراحل و فرآیند تولید کل است را نشان می‌دهد. بررسی این دیدگاه در مدیریت زنجیره تأمین دومرحله‌ای در تمام ادبیات گذشته نادیده گرفته شده است. در این دیدگاه، کارایی فن و بازده به مقیاس مراحل و فرآیند تولید کل به‌طور همزمان اندازه‌گیری و تعیین می‌شود. مقایسه نتایج حاصل در دیدگاه برنامه‌ریزی خطی چندهدفه با تک هدفه نشان می‌دهد که کارایی فرآیند دومرحله‌ای به صورت مدل برنامه‌ریزی خطی تک هدفه بیشتر از کارایی فرآیند دومرحله‌ای به صورت مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه است.

جدول ۴- نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد صنایع تولید رزین ایران به صورت چندهدفه.

کل	مرحله ۲			مرحله ۱			DMU
	RTS _T	θ_0^*		RTS	w_0^*	θ_0^*	
							۱
							۲
							۳
							۴
							۵
							۶
							۷
							۸
							۹
IRS	کارا	IRS	۶۷/۵۰	۱/۰۰۰	۰/۹۰۱۳	۱/۰۰۰	۱۰
							۱۱
							۱۲
							۱۳
							۱۴
							۱۵
							۱۶
							۱۷
							۱۸
CRS	کارا	IRS	۴/۰۴	۱/۰۰۰	-۰/۸۱۸۳	۱/۰۰۰	۱۹
							۲۰
							۲۱
							۲۲
CRS	کارا	DRS	-۱۰/۷	۱/۰۰۰	۰/۸۴۷۲	۱/۰۰۰	۲۳
							۲۴
							۲۵
							۲۶
							۲۷

۵- نتیجه گیری

دیدگاه‌های پیشنهادی که در این مقاله ارائه شد، دیدگاه‌های جدید هستند؛ چنانکه تاکنون در مورد هر دو رویکرد برای تعیین بازده به مقیاس و در رویکرد چندهدفه برای اندازه‌گیری کارایی مدیریت زنجیره تأمین کاری صورت نگرفته است. در این مقاله، برای اندازه‌گیری کارایی مدیریت زنجیره تأمین، دو رویکرد برنامه‌ریزی خطی تک هدفه و چندهدفه ارائه کردیم. همچنین، مدیریت زنجیره تأمین را به صورت شبکه دومرحله‌ای در نظر گرفتیم که کارایی فرآیند دومرحله‌ای به صورت مدل برنامه‌ریزی تک هدفه، بیشتر از کارایی فرآیند دومرحله‌ای به صورت مدل برنامه‌ریزی چندهدفه است. چندهدفه بودن مدل و در نتیجه توجه به نظرهای تصمیم‌گیرنده در اندازه‌گیری مراحل و فرآیند تولید کل، با توجه به افزایش خروجی و کاهش ورودی به‌طور همزمان، از مزایای مدل پیشنهادی است. از مزایای دیگر مدل می‌توان به کاهش زمان موردنیاز برای آماده‌سازی و اجرای مدل و کاهش خطای انسانی، سادگی و قابل فهم بودن مدل اشاره کرد. همچنین در این دو رویکرد که تعمیمی از مدل مجموع وزن‌دار می‌باشد، بازده به مقیاس مراحل و فرآیند تولید کل را تعیین کردیم. لذا با توجه به تکنیک و قضیه‌های مربوط به DEA شبکه‌ای، به تشخیص RTS افزایشی، ثابت و کاهش‌ی هر مرحله



پرداختیم. RTS فرآیند تولید کل در دو حالت به صورت CRS خواهد شد؛ نخست اینکه هر دو مرحله دارای بازده به مقیاس ثابت باشند و یا اینکه بازده به مقیاس دو مرحله متفاوت باشند. مدل‌های پیشنهادی به علت سهولت و زمان کوتاه در محاسبات می‌توانند بانک‌ها، بیمه‌ها، بیمارستان‌ها و ... با ساختار شبکه‌ای را تشویق به استفاده نمایند. ما برای بررسی نتایج نظری مدل‌ها، کارایی و بازده به مقیاس ۲۷ شرکت تولید رزین که سالانه میلیون‌ها تن مواد شیمیایی را به هوا منتشر می‌کنند را به دست آوردیم. کارایی سیستم را همزمان با کارایی بخش‌های آن محاسبه کردیم و به مدیران این امکان را دادیم که برای بهبود کارایی شرکت، بخش‌های ناکارا را بشناسند و تصمیمات مناسب را جهت بهبود بخشیدن به کارایی کل اتخاذ نمایند. همچنین مدل‌های پیشنهادی می‌توانند شوراها را قانون‌گذاری در برنامه‌ریزی سیاست‌های سازگار را تشویق به استفاده کنند. این مدل‌ها را می‌توان توسط نخبگان محیط‌زیست برای نظارت مستمر بر وضعیت زیست‌محیطی تحت تاثیر فعالیت‌های صنعتی بکار برد. بدون شک، ساخت پاک‌کن جهانی به معنای فرصت‌های سرمایه‌گذاری بزرگ است. بنابراین، مدل ارائه‌شده می‌تواند یک ابزار مناسب برای سرمایه‌گذار در تشخیص سرمایه‌گذاری سبز با یک تصمیم عاقلانه باشد. در نهایت فعالیت‌های صنعتی اثرات منفی پایین‌تری بر محیط‌زیست خواهند داشت.

منابع فارسی

- بها، افسانه. (۱۳۸۸). بررسی روابط بین عناصر تسهیم اطلاعات و استراتژی‌های رقابتی و عملکرد زنجیره تأمین در سازمان. *پایگاه مقالات علمی مدیریت*، ۱۶.
- دریگوند، حدیث و نجفی، سید اسماعیل. (۱۳۹۶). استفاده از روش تریابی - هسنی در مدل چندهدفه تحلیل پوششی در حضور داده‌های نامطلوب و فازی. *نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات*، ۲ (۱)، ۷۳-۸۹.
- طحانیان، احمدرضا و نیلفروشان، نیما. (۱۳۹۵). انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره تأمین (پایدار) جهت خرید رنگ موردنیاز خط‌کشی‌ها - مطالعه موردی: معاونت حمل و نقل و شرکت مهندسی نیک‌اندیش. *نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات*، ۱ (۲)، ۱۱۲-۱۳۱.
- محرر، علی و افضلیان، مهدی. (۱۳۹۳). ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی. *مقالات علمی مدیریت*.
- واعظی، احسان و نجفی، سید اسماعیل. (۱۳۹۵). یک رویکرد ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و تاپسیس جهت ارزیابی نسبی شهرهای کشور جهت احداث نیروگاه خورشیدی. *نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات*، ۲ (۲)، ۱۶۲-۱۵۱.

منابع انگلیسی

- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1078-1092.
- Charnes, A., & Cooper, W. W. (1962). Programming with linear fractional functionals. *Naval research logistics (NRL)*, 9(3-4), 181-186.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.
- Chen, Y., Chen, W. D., Cook, x. N., & Zhu, J. (2009). Additive efficiency decomposition in two-stage DEA. *European journal of operational research*, 196(3), 1170-1176.
- Cook, W. D., Zhu, J., Bi, G., & Yang, F. (2010). Network DEA: Additive efficiency decomposition. *European journal of operational research*, 207(2), 1122-1129.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). *Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*. New York, USA: Springer Science & Business Media.
- Färe, R., & Grosskopf, S. (1994). Estimation of returns to scale using data envelopment analysis: A comment. *European journal of operational research*, 79(2), 379-382.
- Fare, R., & Grosskopf, S. (2000). Network DEA. *Socio-Economie planning sciences*. 34(1), 35- 49.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the royal statistical society. Series A (General)*, 120(3), 253-290.
- Golany, B. (1988). An interactive MOLP procedure for the extension of DEA to effectiveness analysis. *Journal of the operational research society*, 39(8), 725-734.
- Khaleghi, M., Jahanshahloo, G., Zohrehbandian, M., & Lotfi, F. H. (2012). Returns to scale and scale elasticity in two-stage DEA. *Mathematical and computational applications*, 17(3), 193-202.
- Kao, C. (2009). Efficiency decomposition in network data envelopment analysis: A relational model. *European journal of operational research*, 192(3), 949-962.
- Kao, C., & Hwang, S. N. (2008). Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan. *European journal of operational research*, 185(1), 418-429.
- Khodabakhshi, M., Gholami, Y., & Kheirollahi, H. (2010). An additive model approach for estimating returns to scale in imprecise data envelopment analysis. *Applied mathematical modelling*, 34(5), 1247-1257.



- Li, X. B., & Reeves, G. R. (1999). A multiple criteria approach to data envelopment analysis. *European journal of operational research*, 115(3), 507-517.
- Mashayekhi, Z., & Omrani, H. (2016). An integrated multi-objective Markowitz-DEA cross-efficiency model with fuzzy returns for portfolio selection problem. *Applied soft computing*, 38, 1-9.
- Seiford, L. M., & Zhu, J. (1999). Profitability and marketability of the top 55 US commercial banks. *Management science*, 45(9), 1270-1288.
- Sexton, T. R., & Lewis, H. F. (2003). Two-stage DEA: An application to major league baseball. *Journal of productivity analysis*, 19(2-3), 227-249.
- Wang, Y., Zhu, X., Lu, T., & Jeeva, A. S. (2013). Eco-efficient based logistics network design in hybrid manufacturing/remanufacturing system in low-carbon economy. *Journal of industrial engineering and management*, 6(1), 200.
- Wu, C. H., Chen, C. W., & Hsieh, C. C. (2012). Competitive pricing decisions in a two-echelon supply chain with horizontal and vertical competition. *International journal of production economics*, 135(1), 265-274.
- Yang, J. B., Wong, B. Y., Xu, D. L., & Stewart, T. J. (2009). Integrating DEA-oriented performance assessment and target setting using interactive MOLP methods. *European journal of operational research*, 195(1), 205-222.
- Zhang, Q., & Yang, Z. (2015). Returns to scale of two-stage production process. *Computers & industrial engineering*, 90, 259-268.
- Zhu, J. (2000). Multi-factor performance measure model with an application to Fortune 500 companies. *European journal of operational research*, 123(1), 105-124.

ضمایم

- (الف) - اگر $(\eta^*, u^*, V^*, w_0^{1*})$ جواب‌های بهینه‌ی مدل برنامه‌ریزی خطی مرحله ۱ باشند، $(x_0, z_0^{in}, z_0^{out}) \in \partial T$ ، در این صورت داریم: $\eta^* z_0^{in} + u^* z_0^{out} - v^* x_0 + w_0^{1*} = 0$ و در ارزیابی $((1 + \delta)x_0, (1 + \delta)z_0^{in}, (1 + \delta)z_0^{out})$ داریم:
- $$\eta^*(1 + \delta)z_0^{in} + u^*(1 + \delta)z_0^{out} - v^*(1 + \delta)x_0 + w_0^{1*} < 0$$
- از طرفی خواهیم داشت:
- $$\eta^*(1 + \delta)z_0^{in} + u^*(1 + \delta)z_0^{out} - v^*(1 + \delta)x_0 + w_0^{1*} + \delta w_0^{1*} - \delta w_0^{1*} < 0$$
- بنابراین،
- $$(1 + \delta)(\eta^* z_0^{in} + u^* z_0^{out} - v^* x_0 + w_0^{1*}) - \delta w_0^{1*} < 0$$
- در نتیجه $w_0^{1*} > 0$ ، که با توجه به تعریف بازده به مقیاس در همسایگی، بازده به مقیاس افزایشی را نشان می‌دهد.
- (ب) - اگر $(\eta^*, U^*, V^*, w_0^{1*})$ جواب‌های بهینه‌ی مدل برنامه‌ریزی خطی مرحله ۱ باشند، $(x_0, z_0^{in}, z_0^{out}) \in \partial T$ ، در این صورت داریم: $\eta^* z_0^{in} + u^* z_0^{out} - v^* x_0 + w_0^{1*} = 0$ حال در ارزیابی $((1 + \delta)x_0, (1 + \delta)z_0^{in}, (1 + \delta)z_0^{out})$ داریم:
- $$\eta^*(1 + \delta)z_0^{in} + u^*(1 + \delta)z_0^{out} - v^*(1 + \delta)x_0 + w_0^{1*} = 0$$
- از طرفی خواهیم داشت:
- $$\eta^*(1 + \delta)z_0^{in} + u^*(1 + \delta)z_0^{out} - v^*(1 + \delta)x_0 + w_0^{1*} + \delta w_0^{1*} - \delta w_0^{1*} = 0$$
- بنابراین،
- $$(1 + \delta)(\eta^* z_0^{in} + u^* z_0^{out} - v^* x_0 + w_0^{1*}) - \delta w_0^{1*} = 0$$
- در نتیجه $w_0^{1*} = 0$ ، که با توجه به تعریف بازده به مقیاس در همسایگی، بازده به مقیاس ثابت را نشان می‌دهد.
- (ج) - اگر $(\eta^*, u^*, V^*, w_0^{1*})$ جواب‌های بهینه‌ی مدل برنامه‌ریزی خطی مرحله ۱ باشند، $(x_0, z_0^{in}, z_0^{out}) \in \partial T$ ، در این صورت داریم: $\eta^* z_0^{in} + u^* z_0^{out} - v^* x_0 + w_0^{1*} = 0$ پس در ارزیابی $((1 - \delta)x_0, (1 - \delta)z_0^{in}, (1 - \delta)z_0^{out})$ داریم:
- $$\eta^*(1 - \delta)z_0^{in} + u^*(1 - \delta)z_0^{out} - v^*(1 - \delta)x_0 + w_0^{1*} < 0$$
- از طرفی خواهیم داشت:
- $$\eta^*(1 - \delta)z_0^{in} + u^*(1 - \delta)z_0^{out} - v^*(1 - \delta)x_0 + w_0^{1*} - \delta w_0^{1*} + \delta w_0^{1*} < 0$$
- بنابراین،
- $$(1 - \delta)(\eta^* z_0^{in} + u^* z_0^{out} - v^* x_0 + w_0^{1*}) + \delta w_0^{1*} < 0$$
- در نتیجه $w_0^{1*} < 0$ ، که با توجه به تعریف بازده به مقیاس در همسایگی، بازده به مقیاس کاهش‌ی را نشان می‌دهد.