

یک مدل DEA برای تخمین بازده به مقیاس جهتی زنجیره تامین پایدار: کاربردی از صنعت برق

مژگان پورعلیزاده

گروه ریاضی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۱۴

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲

چکیده

یکی از مهمترین جنبه‌های تحلیل تولید در فعالیت‌های اقتصادی یک زنجیره تامین تعیین الگو و خط مشی مناسب به منظور تخصیص منابع به بخش‌های زنجیره تامین جهت ارتقای بازده اقتصادی می‌باشد. چگونگی نحوه بکارگیری منابع تحت نسبتهای ورودی‌ها جهت افزایش بازده اقتصادی و پایداری زنجیره تامین امری لازم و ضروری است. هدف این مقاله تخمین بازده به مقیاس جهتی زنجیره تامین الکتریسیته تحت تغییرات نامتناسب ورودی‌ها است بطوریکه اختصاص منابع بر اساس نسبت مناسبی از ورودی‌ها نه تنها بازده اقتصادی را افزایش می‌دهد بلکه سبب کنترل منابع و جلوگیری از هدر رفت آن می‌شود. این مطالعه دارای دو نتیجه کاربردی برای تخمین بازده به مقیاس بخش‌های زنجیره تامین الکتریسیته در صنعت برق می‌باشد. اولاً تخمین بازده به مقیاس جهتی در شناسایی عملکرد بخش‌های زنجیره تامین به منظور کنترل منابع و حفظ محیط از انتشار آلاینده‌های مضر مفید می‌باشد خطوط توزیع برق زنجیره‌های تامین عملکرد مفیدی را در بکارگیری جهت‌های مناسب به منظور افزایش بازده اقتصادی ارایه نمودند. شبکه‌های توزیع برق ۶۰٪ زنجیره‌های تامین دارای قابلیت و ظرفیت‌های لازم در بکارگیری جهت‌های مناسب به منظور افزایش بازده اقتصادی می‌باشند. ثانیاً اختصاص منابع در بخش‌های زنجیره تامین تحت الگوی مناسب راهکار منطقی جهت افزایش منابع موجود در بخش‌ها فراهم می‌نماید بطوریکه تصمیم‌گیرنده قادر است جهتی را برای افزایش منابع بخش‌های زنجیره تامین انتخاب نماید بطوریکه افزایش بازده اقتصادی را ایجاد نماید.

واژگان کلیدی: کشسانی جهتی مقیاس، بازده به مقیاس جهتی، مرز کارای قوی، تغییرات نامتناسب، زنجیره تامین

۱. مقدمه

تغییرات اقلیم و شرایط آب و هوایی تأثیرات مستقیمی بر عملکرد تولید بخش‌های انرژی، نیروگاهی، انتقال و توزیع جریان برق در زنجیره تامین الکتریسیته دارد. افزایش دمای محیط یکی از عوامل موثر افت بازده نیروگاه‌ها تعیین شده است بطوریکه نیروگاه‌های تجدیدناپذیر مانند نیروگاه‌های بخاری، سیکل ترکیبی و گازی که برای تولید برق از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند بر اساس افزایش دمای محیط دچار افت عملکرد و کاهش تولید انرژی می‌شوند. در این حالت بخش‌های نیروگاهی صنعت برق نیازمند به سوخت‌های فسیلی بیشتری به منظور جلوگیری از کاهش توان خروجی نیروگاه‌ها و پاسخ به نوسانات انرژی می‌باشند بنابراین بخش‌های انرژی جهت تامین سوخت نیروگاه‌ها باید با اختصاص بیشتر منابع به نوسانات تقاضای سوخت پاسخ دهند. بطور مشابه خطوط هوایی انتقال نیرو نیز تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی دچار تلفات برق و نوساناتی در ارسال انرژی می‌شوند در این صورت نیروگاه‌ها باید بتوانند انرژی تلف شده خطوط انتقال را تامین نمایند و پاسخگوی نوسانات تقاضا باشند. شبکه‌های توزیع برق نیز تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و سایر موارد دچار نوسانات ولتاژ برق و تلفات ناشی از توزیع برق می‌شوند که به انرژی بیشتری جهت توزیع به مشترکین برق نیازمندند. از اینرو مدیریت تصمیم نیازمند یک الگو و خط مشی مناسب جهت پایداری زنجیره تامین و پاسخگویی به نوسانات تقاضا در بخش‌های مختلف می‌باشد. تعیین یک الگوی مناسب در رابطه با چگونگی تخصیص منابع بیشتر به منظور افزایش بازده اقتصادی نقش مهمی را در بکارگیری مفید منابع ایفا می‌نماید و از هدررفت ظرفیت‌ها جلوگیری می‌کند. بنابراین لازم است که رابطه بین افزایش و کاهش در مقیاس تولید و خروجی‌ها مشخص و معلوم باشد. بازده به مقیاس یک مفهوم کلاسیک اقتصادی است که رابطه بین تغییرات در مقیاس تولید و خروجی‌ها را تشریح می‌نماید. بازده به مقیاس تغییرات شعاعی خروجی‌ها را با فرض تغییرات شعاعی ورودی‌ها اندازه‌گیری می‌نماید علاوه گاهی اوقات فاکتورهای تولید بصورت متناسب تغییر نمی‌کنند در این حالت تصمیم‌گیرنده با در نظر گرفتن الگویی برای تغییرات ورودی‌ها بصورت نامتناسب انتخاب‌های بیشتری را جهت افزایش ورودی‌ها خواهد داشت. بازده به مقیاس جهتی تعمیمی از بازده به مقیاس است که با در نظر گرفتن حالت‌های بیشتری از تغییرات نامتناسب ورودی‌ها بهترین الگو را برای افزایش یا کاهش منابع بر اساس تغییرات مطلوب خروجی‌ها ارائه می‌دهد.

هدف این مقاله بررسی اندازه بازده به مقیاس زنجیره تامین الکتریسیته روی مرز کارای مجموعه امکان تولید با فرض تغییرات نامتناسب ورودی‌ها در بخش‌های زنجیره تامین می‌باشد. برای این منظور اندازه کشسانی مقیاس واحد تصمیم‌گیرنده روی مرز کارا قوی محاسبه می‌شود و چون مرز کارا در همه نقاط مشتق‌پذیر نیست لذا از اندازه‌های کشسانی مقیاس از سمت راست و چپ واحد تصمیم‌گیرنده روی مرز کارا جهت تعیین بازده به مقیاس استفاده می‌شود. این مقاله بازده به مقیاس جهتی ده زنجیره تامین را برای پانزده بخش از سمت چپ و راست در حضور ورودی‌ها، خروجی‌ها، فاکتورهای دو نقشی و اندازه‌های میانی در چارچوب تحلیل پوششی داده‌ها و با استفاده از یک مدل ورودی محور BCC تخمین می‌زند. در واقع با تعیین اندازه کشسانی مقیاس تحت انتخاب‌های بیشتری جهت افزایش و کاهش نامتناسب ورودی‌ها الگوی مناسبی برای بهترین انتخاب بدست می‌آید بطوریکه اختصاص منابع بیشتر افزایش بازده اقتصادی و بکارگیری مفید و کارا تر ظرفیت‌ها را ایجاد می‌کند. در واقع تصمیم‌گیری بر اساس ترکیب منطقی از منابع نه تنها در کنترل منابع و بکارگیری درست ظرفیت‌ها موثر می‌باشد بلکه اطلاعات مفیدی را در رابطه با افزایش بازده اقتصادی و تجزیه و تحلیل آن ارائه می‌نماید. روش ارائه شده قادر است علاوه بر بازده به مقیاس زنجیره تامین اطلاعات مفیدی را در رابطه با بازده به مقیاس هر یک از بخش‌های آن ارائه دهد. بنابراین مدیریت زنجیره تامین می‌تواند بر اساس الگوی مناسبی تصمیمات لازم جهت تخصیص منابع بیشتر به هر یک از بخش‌ها را انجام دهد و یا مقیاس قبلی ورودی‌ها را در بخش‌ها حفظ نماید همچنین جهت کنترل منابع در صورت امکان تخصیص منابع را در برخی از بخش‌ها کاهش دهد. بازده به مقیاس جهتی برای تحلیل جهت‌هایی به منظور تغییر مناسب ورودی‌ها در بخش‌های زنجیره تامین بکار برده شود بطوریکه در تصمیم‌گیری منطقی منابع مفید می‌باشد. به

عبارت دیگر چگونگی اختصاص منابع بخش‌های زنجیره تامین و جلوگیری از هدررفت آنها بمنظور افزایش بازده اقتصادی نقش مهمی را در پایداری زنجیره تامین ایفا می‌کند.

گولنی و همکارانش [1] روش FDM^1 را برای تقریب بازده به مقیاس واحد مورد ارزیابی بکار بردند. آنها تخمینی از بازده به مقیاس از سمت راست و چپ واحد تصمیم‌گیرنده را بر اساس بررسی وجود جواب‌ها در چهار ناحیه تعریف شده از همسایگی واحد مورد ارزیابی ارائه نمودند. ایده اساسی FDM تخمین نسبت مقدار تغییر خروجی‌ها در یک جهت معین شده روی مرز کارا است که بوسیله افزایش یا کاهش یک مقدار به اندازه کافی کوچک از ورودی‌ها در جهت از پیش تعیین شده محاسبه می‌شود. بعلاوه روسن و همکارانش [2] و ازمیلد [3] مشتقات جهتی واحدهای تصمیم‌گیرنده را با استفاده از روش FDM روی مرز کارای قوی تخمین زدند. در این روش تقریب مشتقات جزئی از سمت راست و چپ واحد تصمیم‌گیرنده بوسیله ساخت قسمت‌هایی از مرز کارا صورت می‌گیرد. همچنین کشسانی مقیاس و نرخ‌های حاشیه‌ای بین ورودی‌ها و خروجی‌های بخصوص بوسیله چارنز و همکارانش [4] و بنکر و همکارانش [5] و کوپر و همکارانش [6] مورد مطالعه قرار گرفته است.

این مقاله از بخش‌های زیر تشکیل شده است. بخش ۲ شامل تحقیقات پیشین در زمینه مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها جهت تخمین بازده به مقیاس جهتی واحد تصمیم‌گیرنده می‌باشد. بخش ۳ به مدل‌های بازده به مقیاس جهتی از سمت راست و چپ زنجیره تامین الکتریسیته تحت ورودی‌ها و خروجی‌های مطلوب و فاکتورهای دو نقشی اختصاص دارد. کاربردی از مدل ارائه شده در زنجیره تامین صنعت برق ایران و همچنین نتایج حاصل از اجرای مدل و تجزیه تحلیل آن در بخش ۴ معرفی می‌شود و سرانجام در بخش ۵ نتیجه‌گیری مطرح می‌شود.

۲. پیشینه پژوهش

مشتقات نقاط مرز کارای DEA جهت تحلیل تکنولوژی تولید از اهمیت خاصی برخوردار است. اگر مرز کارا مشتق‌پذیر باشد آنگاه مشتقات جزئی تابع تولید یا مرز کارا جهت محاسبه انواع کشسانی بخصوص کشسانی مقیاس مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدیهی است که مرز کارای مدل BCC تحلیل پوششی داده‌ها یا تابع تولید یک تابع قطعه قطعه خطی است بطوریکه نقاط راسی مرز مجموعه امکان تولید مشتق‌پذیر نمی‌باشند بنابراین بازده به مقیاس جهتی به منظور تخمین بازده به مقیاس از سمت راست و چپ واحدهای تصمیم‌گیرنده بر اساس جهت‌های از پیش فرض شده در نظر گرفته می‌شود. تخمین بازده به مقیاس واحدهای تصمیم‌گیرنده با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای اولین بار توسط بنکر [7] ارائه شد. بنکر برای اولین بار تعریف بازده به مقیاس را از علم اقتصاد به چارچوب مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها معرفی نمود همچنین از مدل CCR تحلیل پوششی داده‌ها و از اندازه شعاعی جهت تخمین بازده به مقیاس تصمیم‌گیرنده مورد ارزیابی استفاده نمود. عبارت دیگر از تغییرات شعاعی ایجاد شده در خروجی‌ها برای تعریف بازده به مقیاس استفاده نمود. بنکر و همکارانش [8] بعد از مدت کوتاهی مدل BCC را تحت فرض بازده به مقیاس متغیر ارائه نمودند و چگونگی بکارگیری مدل BCC تحلیل پوششی داده‌ها را جهت تخمین بازده به مقیاس مورد بررسی قرار دادند. پودینوسکی [9] روشی را برای محاسبه کشسانی مقیاس در تکنولوژی بازده به مقیاس متغیر بر اساس مشتقات جهتی مقدار بهینه تابع هدف ارائه نمود همچنین توانست [10] کشسانی مقیاس را برای مشاهدات کارا و تصویر شعاعی مشاهدات ناکارا محاسبه نماید. فورسند و همکارانش [11,12] نحوه محاسبه مجموعه‌ای از کشسانی‌های مقیاس را فراهم نمودند و محاسبات برای داده‌های واقعی و ساختگی بکار برده شد. همچنین آنها تفاوت‌های تخمین کشسانی مقیاس را برای دو تصویر متفاوت ورودی محور و خروجی محور واحدهای ناکارا ارائه نمودند. پودینوسکی و همکارانش [13] تغییرات نامتناسب ورودی‌ها یا خروجی‌ها را در طول زمان جهت تخمین بازده به مقیاس در نظر گرفتند. بنکر و همکارانش [14] ژو و همکارانش [15] برای محاسبه بازده به مقیاس از مدل CCR تحلیل پوششی داده‌ها استفاده نمودند به طوری که مدل ارائه شده نوع بازده به مقیاس را بصورت افزایشی، ثابت و کاهشی معین می‌کند اما اندازه و مقدار بازده به مقیاس محاسبه نشده است. همچنین گولنی و همکارانش [1] و تن [16] و سوئیوشی [17] و اسلامی و

همکارانش [18] نوع بازده به مقیاس را از جنبه نظر تئوری مورد بررسی قرار دادند. آنها پایه‌های تئوری را نه تنها بمنظور تعیین نوع بازده به مقیاس بلکه جهت ارایه اندازه‌های بازده به مقیاس فراهم نمودند. ژو [19] و تن [20] چن [21] بمنظور تعیین بازده به مقیاس از مدل‌های غیر شعاعی استفاده نمودند. بعنوان مثال بنکر و همکارانش [22] از مدل جمعی برای محاسبه بازده به مقیاس استفاده نمودند. فاکویاما [23] مفهوم بازده به مقیاس را بر اساس تحلیل پوششی داده‌ها و بر مبنای تابع فاصله جهتی تعمیم داد. ساهو و همکارانش [24] بازده به مقیاس یک مدل دو مرحله‌ای شبکه تحلیل پوششی داده‌ها را براساس تجزیه کارایی تعیین نمودند. عزیزی یوسیوند و همکارانش [25] تخمینی از کشسانی مقیاس یک فرایند دو مرحله‌ای را در حضور خروجی‌های نامطلوب محاسبه نمودند. فخر موسوی و همکارانش [26] یک مدل شبکه تحلیل پوششی دو مرحله‌ای غیر شعاعی را جهت تخمین بازده به مقیاس ارایه نمودند. خوونینی و همکارانش [27] یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها را جهت تشخیص کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده و تخمین بازده به مقیاس از سمت راست و چپ واحد تصمیم‌گیرنده کارا بر اساس مدل‌های پوسته دسترس‌پذیری آزاد² (FDH) ارایه نمودند. بعلاوه آنها تخمینی از بیشترین اندازه مقیاس بهره‌وری در مدل‌های² (FDH) را فراهم نمودند. خدابخشی و همکارانش [28] روشی را بر اساس مدل جمعی برای محاسبه بازده به مقیاس داده‌های غیردقیق و مبهم ارایه دادند. یانگ و همکارانش [29] بازده به مقیاس جهتی واحدهای تصمیم‌گیرنده را مورد بررسی قرار دادند. یانگ و همکارانش [30] با استفاده از تعریف بازده به مقیاس جهتی، کشسانی مقیاس جهتی توابع تولید و بازده به مقیاس جهتی موسسه ملی بیولوژیکی کشور چین را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. همچنین یانگ و همکارانش [31] بازده به مقیاس جهتی را برای دو دسته از واحدهای تصمیم‌گیرنده کارا (کارای قوی و کارای ضعیف) و ناکارا تخمین زدند. آنها مقدار نسبت خروجی‌ها را در یک جهت تعیین شده به ازای افزایش ورودی‌ها به اندازه کافی کوچک در یک جهت از پیش فرض شده در سمت راست و چپ واحدهای تصمیم‌گیرنده محاسبه نمودند و تقریبی را از بازده به مقیاس جهتی راست و چپ بدست آوردند بطوریکه جهت‌های از پیش تعیین شده به منظور غیرمتناسب بودن ورودی‌ها در ناحیه‌هایی از سمت راست و چپ واحد تصمیم‌گیرنده کارای قوی بر روی مرز کارا استفاده شد.

این مقاله تخمینی از بازده به مقیاس بخش‌های زنجیره تامین را با انتخاب جهت‌های مناسب به منظور افزایش ورودی‌ها محاسبه می‌نماید بطوریکه ظرفیت‌های لازم جهت پاسخگویی به نوسانات تقاضا در شرایط اقلیمی خاص و موقعیت‌های بحرانی شناسایی می‌شود. مدل ارایه شده در این مطالعه با تعیین جهت‌های مناسب نه تنها از هدررفت منابع و تلفات انرژی جلوگیری می‌نماید و سبب افزایش بازده اقتصادی می‌شود بوسیله کنترل منابع در جهت‌های از پیش تعیین شده از افزایش آلاینده‌های سمی و گازهای گلخانه‌ای جلوگیری می‌کند.

۲. محاسبه بازده به مقیاس جهتی

در این بخش مفاهیم اساسی یانگ و همکارانش [31] به منظور تخمین بازده به مقیاس جهتی برای یک واحد تصمیم‌گیرنده کارای قوی ارایه می‌شود همچنین مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای تعیین اندازه کشسانی مقیاس یک واحد تصمیم‌گیرنده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

محاسبه کشسانی مقیاس جهتی از سمت راست واحدهای تصمیم‌گیرنده کارای قوی

فرض کنید $X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T > 0$ و $Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T > 0$ بردارهای ستونی ورودی‌ها و خروجی‌های مطلوب j امین واحد تصمیم‌گیرنده (DMU) باشند. همچنین فرض کنید واحد تصمیم‌گیرنده (X_o, Y_o) متعلق به مجموعه امکان تولید تشکیل شده از ورودی‌ها و خروجی‌ها باشد همچنین t و β فاکتورهای مقیاس ورودی و خروجی تعریف می‌شوند به طوری که

$$\beta(t) = \max \{ \beta | ((t+1)X_o, (\beta+1)Y_o) \in pps \} \quad (1)$$

محاسبه کشسانی مقیاس با فرض آنکه تابع $\beta(t)$ بطور پیوسته مشتق پذیر باشد، کشسانی مقیاس واحد تصمیم گیرنده (X_o, Y_o) بصورت زیر تعریف می شود

$$e(X_o, Y_o) = \frac{d\beta(t)}{dt} \Big|_{t=0} \quad (2)$$

بدلیل عدم مشتق پذیر بودن تابع $\beta(t)$ در همه نقاط روی مرز کارا تخمین کشسانی مقیاس بوسیله مشتقات جهتی تابع $\beta(t)$ از سمت راست و چپ نقطه (X_o, Y_o) بصورت زیر تعریف می شود.

$$Left : e^-(X_o, Y_o) = \frac{d\beta(t)}{dt} \Big|_{t=0^-} \quad Right : e^+(X_o, Y_o) = \frac{d\beta(t)}{dt} \Big|_{t=0^+} \quad (3)$$

تعریف ۲،۱: فرض کنید $e^-(X_o, Y_o)$ و $e^+(X_o, Y_o)$ بترتیب کشسانی مقیاس از سمت راست و از سمت چپ واحد تصمیم گیرنده (X_o, Y_o) باشد آنگاه بازده به مقیاس جهتی DMU_o بصورت زیر تعریف می شود.

الف- اگر $e^+(X_o, Y_o) > 1$ یا $e^-(X_o, Y_o) > 1$ آنگاه بازده به مقیاس از سمت راست یا سمت چپ افزایشی است.

ب- اگر $e^+(X_o, Y_o) = 1$ یا $e^-(X_o, Y_o) = 1$ آنگاه بازده به مقیاس از سمت راست یا سمت چپ ثابت است.

ج- اگر $e^+(X_o, Y_o) < 1$ یا $e^-(X_o, Y_o) < 1$ آنگاه بازده به مقیاس از سمت راست یا سمت چپ کاهشی است

حال فرض کنید $t_{Right} > 0$ و بردارهای $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ و $\delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s)^T$ بردارهای ستونی جهت های از پیش فرض شده باشند که تغییرات نامتناسب ورودی ها و خروجی ها را نشان می دهند به طوری که ω_i و δ_r مولفه های بردار جهتی ورودی و خروجی برای $i = 1, \dots, m$ و $r = 1, \dots, s$ می باشند. همچنین مقادیر $\beta \in R$ و $t_{Right} > 0$ تغییرات جهتی خروجی ها و ورودی ها را بترتیب در بردارهای δ و ω نشان می دهند. در اینصورت افزایش یا کاهش نامتناسب خروجی ها به مقدار β در جهت بردار $\delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s)^T$ به ازای افزایش نامتناسب ورودی ها به مقدار t در جهت بردار $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ بمنظور تخمین بازده به مقیاس صورت می گیرد بطوریکه $\sum_{i=1}^m \omega_i = m$ و $\omega_i \geq 0$ برای $i = 1, \dots, m$ و همچنین $\sum_{r=1}^s \delta_r = s$ و $\delta_r \geq 0$ برای $r = 1, \dots, s$

$r = 1, \dots, s$ در نظر گرفته شده است همچنین فرض کنید واحد تصمیم گیرنده (X_o, Y_o) متعلق به مجموعه امکان باشد و همچنین فرض کنید $\beta(t) = \max \{ \beta | (\Omega_t^+ X_o, \Phi_{\beta^*}^+ Y_o) \in pps \}$ که $\Phi_{\beta} = diag \{ 1 + \delta_1 \beta, 1 + \delta_2 \beta, \dots, 1 + \delta_s \beta \}$ و $\Omega_t = diag \{ 1 + \omega_1 t_{right}, 1 + \omega_2 t_{right}, \dots, 1 + \omega_m t_{right} \}$ (4)

بطوریکه $\{*\}$ diag یک ماتریس قطری باشد آنگاه کشسانی مقیاس جهتی از سمت راست و چپ DMU_o بصورت فرمول (3) محاسبه می شود و بازده به مقیاس طبق تعریف ۲،۱ تعیین می شود. مدل زیر تخمینی از بازده به مقیاس (RTS) از سمت راست واحد تصمیم گیرنده کارای 0 را محاسبه می کند.

t_{Right} یک مقدار مثبت به اندازه کافی کوچک است که نشان دهنده مقدار تغییر جهتی ورودی ها

$$\begin{aligned} \max_{\beta, \lambda_j} \xi &= \frac{\beta}{t_{Right}} \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j &\leq (1 + \omega_i t_R) x_{i0} \quad i = 1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j &\geq (1 + \delta_r \beta) y_{r0} \quad r = 1, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \quad \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (5)$$

می‌باشد و بطور مشابه متغیر β نیز مقدار تغییر جهتی خروجی‌ها را نشان می‌دهد به طوری که با تعریف مقادیر t_{Right} و β مدل (5) به یک مسئله برنامه‌ریزی خطی تبدیل می‌شود. نوع بازده به مقیاس جهتی از سمت راست واحد تصمیم‌گیرنده 0 توسط مقدار بهینه مدل (5) بصورت زیر مشخص می‌شود.

تعریف ۲.۲ فرض کنید $(X_o, Y_o)^*$ مقدار بهینه تابع هدف مدل (5) باشد آنگاه بازده به مقیاس جهتی از سمت راست DMU_o بصورت زیر تعریف می‌شود.

الف- اگر $(X_o, Y_o)^* > 1$ آنگاه بازده به مقیاس در جهت $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ و $\delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s)^T$ افزایشی است.
 ب- اگر $(X_o, Y_o)^* = 1$ آنگاه بازده به مقیاس در جهت $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ و $\delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s)^T$ ثابت است.
 ج- اگر $(X_o, Y_o)^* < 1$ آنگاه بازده به مقیاس در جهت $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ و $\delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s)^T$ کاهش‌ی است.
 همچنین بازده به مقیاس جهتی از سمت چپ DMU_o برای واحد تصمیم‌گیرنده کارای قوی (X_o, Y_o) در جهت بردارهای $\delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s)^T$ و $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ با مدل تحلیل داده پوششی محاسبه می‌نماید.

$$\min_{\beta, \lambda_j} \psi = \frac{\beta}{t_{left}}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \leq (1 - \omega_i t_i) x_{io} \quad i=1, \dots, m \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \geq (1 - \delta_r \beta) y_{ro} \quad r=1, \dots, s$$

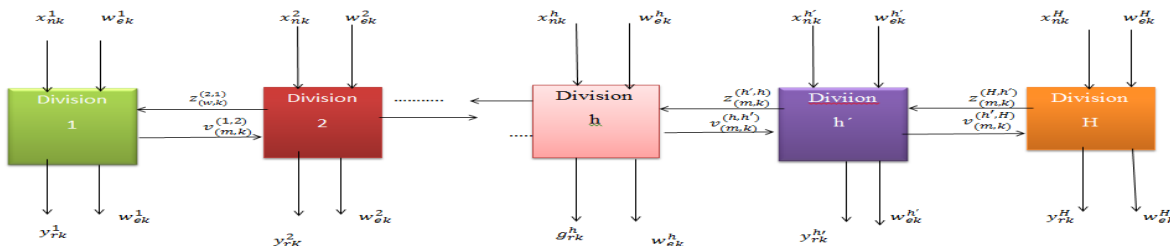
$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad \lambda_j \geq 0, \quad j=1, \dots, n$$

همچنین t_{left} یک مقدار ثابت مثبت به اندازه کافی کوچک است که مقدار تغییر جهتی ورودی‌ها را نشان می‌دهد. بعلاوه مقدار تغییر جهتی خروجی‌ها نیز بوسیله متغیر β تعیین می‌شود. بطور مشابه بوسیله مقدار بهینه تابع هدف مدل (۶) و تعریف ۲.۲ بازده به مقیاس واحد تصمیم‌گیرنده مورد ارزیابی تخمین زده می‌شود.

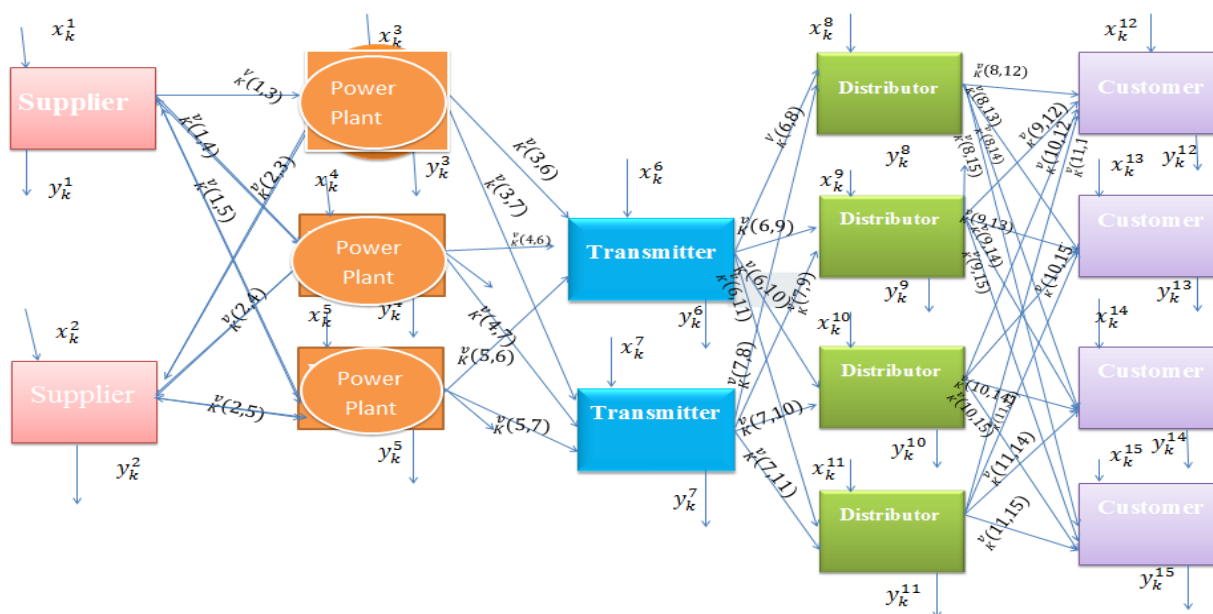
۳. روش شناسی

یک زنجیره تامین را با پنج مرحله و پانزده بخش در نظر بگیرید بطوریکه شامل دو ارسال‌کننده سوخت، سه نیروگاه، دو کمپانی انتقال، چهار کمپانی توزیع و چهار مصرف‌کننده برق باشد. هر بخش جهت تولید خروجی از ورودی‌ها و فاکتورهای دو نقشی استفاده می‌کند. همچنین اندازه‌های میانی از هر بخش در هر مرحله به بخش دیگر به مرحله مجاور ارسال می‌گردد. فرض کنید h_c, h_d, h_t, h_m, h_s بترتیب تعداد بخش‌های ارسال‌کننده سوخت مورد نیاز نیروگاه‌ها، تعداد نیروگاه‌ها، تعداد کمپانی‌های برق منطقه‌ای، تعداد شرکت‌های توزیع برق و تعداد مشترکین در بخش‌های خانگی، عمومی، کشاورزی و صنعتی باشند و همچنین فرض کنید $w_{ej}^h, y_{rj}^h, x_{mj}^h$ نشان‌دهنده m امین ورودی ($m=1, \dots, M$) و r امین خروجی مطلوب ($r=1, \dots, S$) و e امین فاکتور دو نقشی ($e=1, \dots, E$) از h امین بخش ($h=1, \dots, H$) در j امین زنجیره تامین ($j=1, \dots, n$) باشد. همچنین $v_{pj}^{(h, h')}$ نشان‌دهنده p امین اندازه میانی ارسال شده از بخش h به بخش h' در j امین زنجیره تامین باشد. بعلاوه $z_{aj}^{(h', h)}$ ، a امین اندازه میانی خارج شده از h' امین بخش زنجیره تامین و وارد شده به h امین بخش را نشان می‌دهد و $S_a^{-(h', h)}$ و $S_a^{+(h', h)}$ متغیرهای کمکی اندازه‌های میانی خارج شده از h' امین بخش زنجیره تامین و وارد شده به h امین بخش تعریف می‌شوند.

شکل ۱ ساختار کلی زنجیره تامین را نشان می‌دهد که شامل یک تعداد از شرکت‌ها، کمپانی‌ها، سازمان‌ها است بطوریکه هر بخش با استفاده از دو ورودی و شاخص‌های دو نقشی، خروجی‌های مطلوب را تولید می‌کنند.



شکل ۱. ساختار زنجیره تامین



شکل ۲. ساختار زنجیره تامین

شکل ۲ یک زنجیره تامین را در صنعت برق ایران نشان می‌دهد که از پنج مرحله و پانزده بخش تشکیل شده است بطوریکه شامل دو ارسال کننده سوخت، سه نیروگاه، دو کمپانی انتقال، چهار کمپانی توزیع و چهار مصرف کننده برق می‌باشد هر بخش جهت تولید دو نوع خروجی ازدو نوع ورودی تحت دسترس پذیری عادی و مدیریتی و فاکتورهای دو نقش ورودی و خروجی استفاده می‌کند. همچنین اندازه‌های میانی از هر بخش در هر مرحله به بخش دیگر به مرحله مجاور ارسال می‌گردد. مدل (7) یک مدل BCC ورودی محور تحلیل پوششی داده‌ها است که کارایی ده زنجیر تامین را با پانزده بخش و پنج مرحله محاسبه می‌کند.

$$\begin{aligned}
\rho = & \min \sum_{h=1}^H W_h \left[\theta^h - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m R_i^h d_i^h + \sum_{r=1}^S R_r^h d_r^h + \sum_{h'=1}^H \sum_{a=1}^A R_a s_a^{+(h',h)} \right) \right] \\
\sum_{j=1}^n x_{ij}^h \lambda_j^h + d_i^h & = \theta^h x_{ik}^h & i=1, \dots, m, h=1, \dots, H \\
\sum_{j=1}^n y_{rj}^h \lambda_j^h - d_r^h & = y_{rk}^h & r=1, \dots, S_h, h=1, \dots, H \\
\sum_{j=1}^n w_{ej}^h \lambda_j^h & = w_{ek}^h & e=1, \dots, E_h, h=1, \dots, h_s \\
\sum_{j=1}^n w_{ej}^h \lambda_j^h & = w_{ek}^h & e=1, \dots, E, h=1, \dots, h_m \\
\sum_{j=1}^n w_{ej}^h \lambda_j^h & = w_{ek}^h & e=1, \dots, E, h=1, \dots, h_t \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j^h v_{pj}^{(h,h')} & = \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} v_{pj}^{(h,h')} & h=1, \dots, h_s, p=1, \dots, P_s, h'=h_s+1, \dots, h_m \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j^h v_{pj}^{(h,h')} & = \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} v_{pj}^{(h,h')} & h=h_s+1, \dots, h_m, p=1, \dots, P_m, h'=h_m+1, \dots, h_t \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j^h v_{pj}^{(h,h')} & = \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} v_{pj}^{(h,h')} & h=h_m+1, \dots, h_t, p=1, \dots, P_t, h'=h_t+1, \dots, h_d \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j^h v_{pj}^{(h,h')} & = \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} v_{pj}^{(h,h')} & h=h_t+1, \dots, h_d, p=1, \dots, P_d, h'=h_d+1, \dots, h_c \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j^h z_{aj}^{(h',h)} - s_a^{+(h',h)} & = z_{ak}^{(h',h)} & h=1, \dots, h_s, h'=h_s+1, \dots, h_m, a=1, \dots, A_s \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j^h z_{aj}^{(h',h)} + s_a^{+(h',h)} & = z_{ak}^{(h',h)} & h=1, \dots, h_s, h'=h_s+1, \dots, h_m, a=1, \dots, A_m \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} z_{aj}^{(h',h)} - s_a^{-(h',h)} & = z_{ak}^{(h',h)} & h=h_s+1, \dots, h_m, h'=h_m+1, \dots, h_t, a=1, \dots, A_m \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} z_{aj}^{(h',h)} + s_a^{-(h',h)} & = z_{ak}^{(h',h)} & h=h_s+1, \dots, h_m, h'=h_m+1, \dots, h_t, a=1, \dots, A_t \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j^h & = 1 & h=1, \dots, H, j=1, \dots, n \\
\lambda_j \geq 0, s_a^{+(h,h')} \geq 0, s_a^{-(h,h')} \geq 0, s_p^{(h,h')}, \theta^h \text{ UR}, & j=1, \dots, n, h=1, \dots, H \\
d_i^h \geq 0, d_r^h \geq 0, &
\end{aligned} \tag{7}$$

$R_a^h, R_p^h, R_r^h, R_i^h$ مقادیر ثابت هستند که توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شوند. همچنین $(h=1, \dots, H)$ ضرایب وزنی h امین بخش از یک زنجیره تامین است که توسط تصمیم‌گیرنده در فعالیت تولید تعریف می‌شوند. θ مقدار کارایی k امین واحد تصمیم‌گیرنده یا زنجیره تامین را محاسبه می‌کند.

اولین و دومین دسته قیود متناظر با ورودی‌ها و خروجی‌ها مطلوب می‌باشد. سومین و چهارمین و پنجمین دسته قیود متناظر با شاخص‌های دو نقش ورودی و خروجی در سه مرحله ارسال‌کنندگان سوخت، نیروگاه‌ها و انتقال‌دهندگان برق می‌باشند. قیدهای متعلق به اندازه‌های میانی بصورت ششمین و هفتمین و هشتمین و نهمین دسته قیود معرفی می‌شوند. این دسته قیود متناظر با اندازه‌های میانی خارج شده از h امین بخش و وارد شده به h' بخش زنجیره تامین می‌باشند بطور مشابه دهمین، یازدهمین،

دوازدهمین و سیزدهمین دسته قیود متناظر با اندازه‌های میانی هستند که سمت چپ و سمت راست این قیدها بترتیب نشان‌دهنده اندازه‌های میانی است که از h' امین بخش خارج می‌شوند و به h امین بخش وارد می‌شوند و آخرین دسته قیود مربوط به بازده به مقیاس متغیر است. تابع هدف زنجیره تامین بصورت میانگین وزنی از مقادیر کارایی هر یک از بخش‌های زنجیره تامین محاسبه می‌شود به طوری که وزن‌های تابع هدف بوسیله تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود. همچنین θ^h مقدار کارایی h امین بخش از زنجیره تامین است. بعلاوه ترکیبات مناسبی از متغیرهای کمکی مربوط به قیدهای ورودی، خروجی و اندازه‌های میانی در محاسبه مقدار تابع هدف در نظر گرفته می‌شوند.

۳-۱. روش محاسبه بازده به مقیاس جهتی زنجیره تامین کارای قوی

در این بخش بازده به مقیاس جهتی از سمت راست و چپ بخش‌های زنجیره تامین تحت ورودی، خروجی‌های مطلوب و شاخص‌های دو نقش ورودی و خروجی و اندازه‌های میانی ارایه می‌شود. فاکتورهای تولید از h امین بخش در h' امین زنجیره تامین بصورت زیر تعریف می‌شوند.

$$x_j^h = (x_{1j}^h, x_{2j}^h, \dots, x_{mj}^h)^T > 0 : \text{یک بردار ستونی شامل } m \text{ ورودی از } h \text{ امین بخش در } h' \text{ امین زنجیره تامین}$$

$$y_j^h = (y_{1j}^h, y_{2j}^h, \dots, y_{sj}^h)^T > 0 : \text{یک بردار ستونی شامل } s \text{ خروجی از } h \text{ امین بخش در } h' \text{ امین زنجیره تامین}$$

$$w_j^h = (w_{1j}^h, w_{2j}^h, \dots, w_{ej}^h)^T > 0 : \text{یک بردار ستونی شامل } e \text{ فاکتور دو نقشی از } h \text{ امین بخش در } h' \text{ امین زنجیره تامین}$$

$$V_j^{(h,h')} = (v_{1j}^{(h,h')}, v_{2j}^{(h,h')}, \dots, v_{pj}^{(h,h')})^T > 0 : \text{یک بردار ستونی شامل } P \text{ اندازه میانی ارسال شده از } h \text{ امین بخش به } h' \text{ امین بخش در } h' \text{ امین زنجیره تامین}$$

همچنین $\omega_j^h = (\omega_{1j}^h, \omega_{2j}^h, \dots, \omega_{mj}^h)^T$ بردار جهتی است که افزایش m ورودی را از h امین بخش در h' امین زنجیره تامین نشان می‌دهد. عبارت دیگر به منظور محاسبه مشتق جهتی راست و چپ h امین بخش در h' امین زنجیره تامین ورودی‌ها در جهت بردار ω_j^h به مقدار $t_{right}^h > 0$ افزایش و یا به مقدار $t_{left}^h > 0$ کاهش می‌یابند. مقدار $\omega_i^h \geq 0$ و $\sum_{i=1}^m \omega_i^h = m$ همچنین $t_{left}^h > 0, t_{right}^h > 0$ تعریف شده است.

همچنین بردار جهتی $\delta_j^h = (\delta_{1j}^h, \delta_{2j}^h, \dots, \delta_{sj}^h)^T$ افزایش یا کاهش خروجی‌ها را از h امین بخش در h' امین زنجیره تامین نشان می‌دهد بطوریکه خروجی‌های h امین بخش زنجیره تامین بر اساس تغییرات ورودی‌ها در جهت بردار $\omega_j^h = (\omega_{1j}^h, \omega_{2j}^h, \dots, \omega_{mj}^h)^T$ در امتداد بردار $\delta_j^h = (\delta_{1j}^h, \delta_{2j}^h, \dots, \delta_{sj}^h)^T$ با $\sum_{r=1}^s \delta_{rj}^h = s$ افزایش یا کاهش می‌یابند. برای هر $(h = 1, \dots, H)$ مقادیر ثابت t_{left}^h و t_{right}^h مثبت و به اندازه کافی کوچک هستند که مقدار تغییر ورودی‌های h امین بخش از زنجیره تامین را مشخص می‌نماید. بعلاوه مقدار افزایش و یا کاهش خروجی‌های h امین بخش زنجیره تامین در جهت بردار $\delta_j^h = (\delta_{1j}^h, \delta_{2j}^h, \dots, \delta_{sj}^h)^T$ بوسیله $\beta^h \in R$ مشخص می‌شود.

روش محاسبه بازده به مقیاس جهتی از سمت راست زنجیره تامین کارای قوی

فرض کنید $t_{right}^h > 0$ یک مقدار ثابت مثبت به اندازه کافی کوچک است که مقدار تغییر جهتی ورودی‌ها را از h امین بخش زنجیره تامین نشان می‌دهد. به منظور تخمین بازده به مقیاس جهتی از سمت راست یک زنجیره تامین مدل (5) با افزودن فاکتورهای دو نقشی و اندازه‌های میانی به یک مدل زنجیره تامین تعمیم داده می‌شود با استفاده از اندازه‌های شعاعی بدست آمده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها (7) تصویر واحدهای تصمیم‌گیرنده بر مرز کارای قوی بوسیله روابط زیر بدست می‌آید.

$$\begin{aligned}\tilde{x}_{ik}^h &= \theta_k^{h*} x_{ik}^h - (s_i^{-*})^h & i=1, \dots, m, \quad h=1, \dots, H \\ \tilde{y}_{rk}^h &= y_{rk}^h + (s_r^{+*})^h & r=1, \dots, s, \quad h=1, \dots, H\end{aligned}\quad (8)$$

به منظور تخمین بازده به مقیاس بخش‌های زنجیره تامین الکتریسیته ابتدا در مرحله اول بخش‌های ناکارا و کارای ضعیف با استفاده از جواب بهینه حاصل از اجرای مدل ورودی محور شعاعی (7) به مرز کارای قوی تصویر می‌شوند سپس با قرار دادن تصویر نقاط کارا بعنوان مقادیر شاخص‌های ورودی و خروجی مقدار تقریبی بازده به مقیاس سمت راست و چپ هر یک از بخش‌های زنجیره تامین بوسیله مدل‌های (9) و (11) محاسبه می‌شود.

مدل زیر بازده به مقیاس جهتی از سمت راست k امین زنجیره تامین را با پانزده بخش روی مرز کارای تخمین می‌زند.

$$\begin{aligned}\xi &= \text{Max} \sum_{h=1}^H W_h \frac{\beta^h}{t_{right}^h} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h x_{ij}^h &\leq (1 + \omega_i^h t_{right}^h) \tilde{x}_{ik}^h & i=1, \dots, m_h, \quad h=1, \dots, H \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h y_{rj}^h &\geq (1 + \delta_r^h \beta^h) \tilde{y}_{rk}^h & r=1, \dots, S_h, \quad h=1, \dots, H \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h w_{ej}^h &= w_{ek}^h & e=1, \dots, E_h, \quad h=h_s, h_m, h_t \\ \sum_{j=1}^n w_{ej}^h \lambda_j^h &= w_{ek}^h & e=1, \dots, E, \quad h=1, \dots, h_m \\ \sum_{j=1}^n w_{ej}^h \lambda_j^h &= w_{ek}^h & e=1, \dots, E, \quad h=1, \dots, h_t \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h v_{pj}^{(h, h')} &= \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} v_{pj}^{(h, h')} & h=1, \dots, h_s, \quad p=1, \dots, P_s, \quad h'=h_s+1, \dots, h_m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h v_{pj}^{(h, h')} &= \sum_{j=1}^J \lambda_j^{h'} v_{pj}^{(h, h')} & h=h_s+1, \dots, h_m, \quad p=1, \dots, P_m, \quad h'=h_m+1, \dots, h_t \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h v_{pj}^{(h, h')} &= \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} v_{pj}^{(h, h')} & h=h_m+1, \dots, h_t, \quad p=1, \dots, P_t, \quad h'=h_t+1, \dots, h_d \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h v_{pj}^{(h, h')} &= \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} v_{pj}^{(h, h')} & h=h_t+1, \dots, h_d, \quad p=1, \dots, P_d, \quad h'=h_d+1, \dots, h_c \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h z_{aj}^{(h', h)} - s_a^{+(h', h)} &= z_{ak}^{(h', h)} & h=1, \dots, h_s, \quad h'=h_s+1, \dots, h_m, \quad a=1, \dots, A_s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h z_{aj}^{(h', h)} + s_a^{+(h', h)} &= z_{ak}^{(h', h)} & h=1, \dots, h_s, \quad h'=h_s+1, \dots, h_m, \quad a=1, \dots, A_m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} z_{aj}^{(h', h)} - s_a^{-(h', h)} &= z_{ak}^{(h', h)} & h=h_s+1, \dots, h_m, \quad h'=h_m+1, \dots, h_t, \quad a=1, \dots, A_m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} z_{aj}^{(h', h)} + s_a^{-(h', h)} &= z_{ak}^{(h', h)} & h=h_s+1, \dots, h_m, \quad h'=h_m+1, \dots, h_t, \quad a=1, \dots, A_c \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h &= 1 & h=1, \dots, H, \quad j=1, \dots, n \\ \lambda_j &\geq 0, \beta \text{ UR}, & j=1, \dots, n, \quad h=1, \dots, H\end{aligned}\quad (9)$$

اولین دسته قیود متناظر با ورودی‌های h امین بخش در j امین زنجیره تامین است که در جهت بردار $\omega_j^h = (\omega_{1j}^h, \omega_{2j}^h, \dots, \omega_{mj}^h)^T$ و به مقدار کافی کوچک $t_{right}^h > 0$ افزایش می‌یابند.

دومین دسته قیود مربوط به خروجی‌های مطلوب h امین بخش زنجیره تامین تغییرات خروجی‌ها را در امتداد بردار $\delta_j^h = (\delta_{1j}^h, \delta_{2j}^h, \dots, \delta_{sj}^h)^T$ بر اساس افزایش نامتناسب ورودی‌ها در جهت $\omega_j^h = (\omega_{1j}^h, \omega_{2j}^h, \dots, \omega_{mj}^h)^T$ نشان می‌دهد همچنین β^h فاکتور تغییرات خروجی‌های h امین بخش زنجیره تامین را در جهت δ_j^h تعیین می‌نماید.

سومین و چهارمین و پنجمین دسته قیود متناظر با شاخص‌های دو نقشی در سه مرحله ارسال کنندگان سوخت، نیروگاه‌ها و انتقال دهندگان برق می‌باشند. همچنین ششمین تا سیزدهمین دسته قیود اندازه‌های میانی ارسالی بخش‌های زنجیره تامین نشان می‌دهد و سرانجام آخرین دسته قیود مربوط به بازده به مقیاس متغیر می‌باشد. همچنین تابع هدف مدل (9) ترکیب وزنی از فاکتور تغییرات خروجی‌های متناظر به پانزده بخش زنجیره تامین می‌باشد.

تعریف ۱.۳ فرض کنید $\xi^*(X_k, Y_k)$ مقدار بهینه تابع هدف زنجیره تامین مورد ارزیابی مدل (9) باشد آنگاه بازده به مقیاس جهتی در سمت راست k امین زنجیره تامین بر اساس افزایش ورودی‌های h امین بخش زنجیره تامین در جهت $\omega_j^h = (\omega_{1k}^h, \omega_{2k}^h, \dots, \omega_{mk}^h)^T$ و تغییرات خروجی‌ها در جهت $\delta_k^h = (\delta_{1k}^h, \delta_{2k}^h, \dots, \delta_{sk}^h)^T$ بصورت زیر تعریف می‌شود.

الف- اگر $\xi^*(X_k, Y_k) > 1$ آنگاه بر اساس افزایش ورودی‌های h امین بخش زنجیره تامین در جهت $\omega_j^h = (\omega_{1j}^h, \omega_{2j}^h, \dots, \omega_{mj}^h)^T$ و تغییرات خروجی‌ها در جهت $\delta_j^h = (\delta_{1j}^h, \delta_{2j}^h, \dots, \delta_{sj}^h)^T$ بازده به مقیاس افزایشی است.

ب- اگر $\xi^*(X_k, Y_k) = 1$ آنگاه بر اساس افزایش ورودی‌های h امین بخش زنجیره تامین در جهت $\omega_j^h = (\omega_{1j}^h, \omega_{2j}^h, \dots, \omega_{mj}^h)^T$ و خروجی‌ها در جهت $\delta_j^h = (\delta_{1j}^h, \delta_{2j}^h, \dots, \delta_{sj}^h)^T$ بازده به مقیاس ثابت است.

ج- اگر $\xi^*(X_k, Y_k) < 1$ آنگاه بر اساس افزایش ورودی‌های h امین بخش زنجیره تامین در جهت $\omega_j^h = (\omega_{1j}^h, \omega_{2j}^h, \dots, \omega_{mj}^h)^T$ و خروجی‌ها در جهت $\delta_j^h = (\delta_{1j}^h, \delta_{2j}^h, \dots, \delta_{sj}^h)^T$ بازده به مقیاس کاهشی است.

۳-۲. روش محاسبه بازده به مقیاس جهتی از سمت چپ زنجیره تامین کارای قوی

یانگ و همکارانش [31] نشان دادند که کاهش قابل ملاحظه بعضی از ورودی‌ها در DMU های کارای قوی در جهت بردار $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ بدون توجه به تغییر خروجی‌ها در جهت $\delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s)^T$ امکان‌پذیر نمی‌باشد زیرا بر اساس این کاهش ممکن است واحد تصمیم‌گیرنده خارج از مجموعه امکان تولید قرار گیرد و متعلق به مجموعه امکان تولید نباشد لذا برای تخمین بازده به مقیاس چپ واحدهای تصمیم‌گیرنده مورد ارزیابی ابتدا باید زنجیره تامین کارای قوی، از نظر کوچکترین اندازه مقیاس جهتی (DSSS) بررسی شود.

به منظور محاسبه بازده به مقیاس جهتی از سمت چپ یک زنجیره تامین با بخش‌های کارای قوی امکان کاهش ورودی‌ها بر اساس جهت تعریف شده $\omega_j^h = (\omega_{1j}^h, \omega_{2j}^h, \dots, \omega_{mj}^h)^T$ بدون توجه به جهت تغییرات خروجی‌ها قابل اجرا نمی‌باشد. در واقع کاهش ورودی‌ها در برخی از بخش‌های زنجیره تامین در جهت انتخابی سبب خارج شدن واحد تصمیم‌گیرنده از مجموعه امکان تولید شود در این حالت زنجیره تامین بعنوان کوچکترین مقیاس جهتی تعریف می‌شود.

تعریف ۲.۳ زنجیره تامین کارای قوی دارای کوچکترین اندازه مقیاس جهتی است اگر و تنها اگر برای هر β^h و $t^h < 0$ داشته باشیم $(\Omega_t^h X_o, \Phi_{\beta}^h Y_o) \notin pps$ بنابر این در ابتدا باید (X_o, Y_o) کارای قوی از جهت کوچکترین اندازه مقیاس (DSSS) بررسی شود.

تعریف ۳.۳ اگر کاهش ورودی‌های h امین بخش از k امین زنجیره تامین کارای قوی در جهت بردار $\omega_k^h = (\omega_{1k}^h, \omega_{2k}^h, \dots, \omega_{mk}^h)^T$ و تغییرات خروجی در جهت بردار $\delta_j^h = (\delta_{1j}^h, \delta_{2j}^h, \dots, \delta_{sj}^h)^T$ دارای $\eta_k^{h*} = 0$ یا (DSSS) باشد آنگاه بازده به مقیاس در سمت چپ زنجیره تامین افزایشی است. بر طبق تعریف ۲.۲ مدل (10) به منظور تشخیص (DSSS) زنجیره تامین k بکار برده می‌شود.

$$\begin{aligned} \psi &= \text{Max} \sum_{h=1}^H W_h \eta^h \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h x_{ij}^h &\leq (1 - \omega_i^h \eta^h) \tilde{x}_{ik}^h & i=1, \dots, m_h, h=1, \dots, H \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h y_{rj}^h &\geq (1 - \delta_r^h \beta^h) \tilde{y}_{rk}^h & r=1, \dots, S_h, h=1, \dots, H \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h w_{ej}^h &= w_{ek}^h & e=1, \dots, E_h, h=h_s, h_m, h_t \\ \sum_{j=1}^n w_{ej}^h \lambda_j^h &= w_{ek}^h & e=1, \dots, E, h=1, \dots, h_m \\ \sum_{j=1}^n w_{ej}^h \lambda_j^h &= w_{ek}^h & e=1, \dots, E, h=1, \dots, h_t \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h v_{pj}^{(h, h')} &= \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} v_{pj}^{(h, h')} & h=1, \dots, h_s, p=1, \dots, P_s, h'=h_s+1, \dots, h_m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h v_{pj}^{(h, h')} &= \sum_{j=1}^J \lambda_j^{h'} v_{pj}^{(h, h')} & h=h_s+1, \dots, h_m, p=1, \dots, P_m, h'=h_m+1, \dots, h_t \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h v_{pj}^{(h, h')} &= \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} v_{pj}^{(h, h')} & h=h_m+1, \dots, h_t, p=1, \dots, P_t, h'=h_t+1, \dots, h_d \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h v_{pj}^{(h, h')} &= \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} v_{pj}^{(h, h')} & h=h_t+1, \dots, h_d, p=1, \dots, P_d, h'=1, \dots, h_c \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h z_{aj}^{(h', h)} - s_a^{+(h', h)} &= z_{ak}^{(h', h)} & h=1, \dots, h_s, h'=h_s+1, \dots, h_m, a=1, \dots, A_s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h z_{aj}^{(h', h)} + s_a^{+(h', h)} &= z_{ak}^{(h', h)} & h=1, \dots, h_s, h'=h_s+1, \dots, h_m, a=1, \dots, A_m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} z_{aj}^{(h', h)} - s_a^{-(h', h)} &= z_{ak}^{(h', h)} & h=h_s+1, \dots, h_m, h'=h_m+1, \dots, h_t, a=1, \dots, A_m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} z_{aj}^{(h', h)} + s_a^{-(h', h)} &= z_{ak}^{(h', h)} & h=h_s+1, \dots, h_m, h'=h_m+1, \dots, h_t, a=1, \dots, A_t \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^h &= 1 & h=1, \dots, H, j=1, \dots, n \\ \lambda_j \geq 0, \eta^h \geq 0, \beta \text{ UR}, & & j=1, \dots, n, h=1, \dots, H \end{aligned}$$

جهت تخمین بازده به مقیاس از سمت چپ k امین زنجیره تامین ابتدا مدل (10) برای تعیین η_k^{h*} بکار برده می‌شود. اگر $\eta_k^{h*} \neq 0$ است آنگاه کاهش ورودی‌ها در جهت $\omega_k^h = (\omega_{1k}^h, \omega_{2k}^h, \dots, \omega_{mk}^h)^T$ امکان‌پذیر است بطوری که تخمین بازده به مقیاس آنها قابل اجرا می‌باشد در غیر این صورت طبق تعریف ۳,۳ بازده به مقیاس افزایشی است. حال فرض کنید $t_{left}^h > 0$ یک مقدار ثابت مثبت به اندازه کافی کوچک است که مقدار تغییر جهتی ورودی‌های h امین بخش از سمت چپ نشان می‌دهد. مدل زیر بازده به مقیاس جهتی را از سمت چپ k امین زنجیره تامین کارای قوی بر اساس افزایش ورودی‌ها در جهت بردار $\omega_k^h = (\omega_{1k}^h, \omega_{2k}^h, \dots, \omega_{mk}^h)^T$ و تغییرات خروجی‌ها در جهت بردار $\delta_j^h = (\delta_{1j}^h, \delta_{2j}^h, \dots, \delta_{sj}^h)^T$ محاسبه می‌کند.

$$\psi = \text{Max} \sum_{h=1}^H W_h \frac{\beta^h}{t_{right}^h}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^h x_{ij}^h \leq (1 - \omega_i^h t_{right}^h) x_{ik}^h \quad i=1, \dots, m_h, h=1, \dots, H$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^h y_{rj}^h \geq (1 - \delta_r^h \beta^h) y_{rk}^h \quad r=1, \dots, S_h, h=1, \dots, H$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^h w_{ej}^h = w_{ek}^h \quad e=1, \dots, E_h, h=h_s, h_m, h_t$$

$$\sum_{j=1}^n w_{ej}^h \lambda_j^h = w_{ek}^h \quad e=1, \dots, E, h=1, \dots, h_m$$

$$\sum_{j=1}^n w_{ej}^h \lambda_j^h = w_{ek}^h \quad e=1, \dots, E, h=1, \dots, h_t$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^h v_{pj}^{(h, h')} = \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} v_{pj}^{(h, h')} \quad h=1, \dots, h_s, p=1, \dots, P_s, h'=h_s+1, \dots, h_m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^h v_{pj}^{(h, h')} = \sum_{j=1}^J \lambda_j^{h'} v_{pj}^{(h, h')} \quad h=h_s+1, \dots, h_m, p=1, \dots, P_m, h'=h_m+1, \dots, h_t$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^h v_{pj}^{(h, h')} = \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} v_{pj}^{(h, h')} \quad h=h_m+1, \dots, h_t, p=1, \dots, P_t, h'=h_t+1, \dots, h_d$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^h v_{pj}^{(h, h')} = \sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} v_{pj}^{(h, h')} \quad h=h_t+1, \dots, h_d, p=1, \dots, P_d, h'=h_d+1, \dots, h_c$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^h z_{aj}^{(h', h)} - s_a^{+(h', h)} = z_{ak}^{(h', h)} \quad h=1, \dots, h_s, h'=h_s+1, \dots, h_m, a=1, \dots, A_s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^h z_{aj}^{(h', h)} + s_a^{+(h', h)} = z_{ak}^{(h', h)} \quad h=1, \dots, h_s, h'=h_s+1, \dots, h_m, a=1, \dots, A_m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} z_{aj}^{(h', h)} - s_a^{-(h', h)} = z_{ak}^{(h', h)} \quad h=h_s+1, \dots, h_m, h'=h_m+1, \dots, h_t, a=1, \dots, A_m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^{h'} z_{aj}^{(h', h)} + s_a^{-(h', h)} = z_{ak}^{(h', h)} \quad h=h_s+1, \dots, h_m, h'=h_m+1, \dots, h_t, a=1, \dots, A_c$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^h = 1 \quad h=1, \dots, H, j=1, \dots, n$$

$$\lambda_j \geq 0, \beta \text{ UR}, \quad j=1, \dots, n, h=1, \dots, H$$

تعریف ۴.۳ فرض کنید $\psi^*(X_k, Y_k)$ مقدار بهینه تابع هدف k امین زنجیره تامین کارای قوی مدل (11) باشد آنگاه بازده به مقیاس جهتی از سمت چپ k امین زنجیره تامین بر اساس کاهش ورودی‌های h امین بخش زنجیره تامین در جهت $\omega_j^h = (\omega_{1k}^h, \omega_{2k}^h, \dots, \omega_{mk}^h)^T$ و تغییرات خروجی‌ها در جهت $\delta_k^h = (\delta_{1k}^h, \delta_{2k}^h, \dots, \delta_{sk}^h)^T$ بصورت زیر تعریف می‌شود:

الف- اگر $\psi^*(X_k, Y_k) > 1$ آنگاه آنگاه بر اساس کاهش ورودی‌های h امین بخش زنجیره تامین در جهت $\omega_j^h = (\omega_{1j}^h, \omega_{2j}^h, \dots, \omega_{mj}^h)^T$ و تغییرات خروجی‌ها در جهت $\delta_j^h = (\delta_{1j}^h, \delta_{2j}^h, \dots, \delta_{sj}^h)^T$ بازده به مقیاس افزایشی است.

ب- اگر $\psi^*(X_k, Y_k) = 1$ آنگاه بر اساس کاهش ورودی‌های h امین بخش زنجیره تامین در جهت $\omega_j^h = (\omega_{1j}^h, \omega_{2j}^h, \dots, \omega_{mj}^h)^T$ و تغییرات خروجی‌ها در جهت $\delta_j^h = (\delta_{1j}^h, \delta_{2j}^h, \dots, \delta_{sj}^h)^T$ بازده به مقیاس ثابت است.

ج- اگر $\psi^*(X_k, Y_k) < 1$ آنگاه بر اساس کاهش ورودی‌های h امین بخش زنجیره تامین در جهت $\omega_j^h = (\omega_{1j}^h, \omega_{2j}^h, \dots, \omega_{mj}^h)^T$ و تغییرات خروجی‌ها در جهت $\delta_j^h = (\delta_{1j}^h, \delta_{2j}^h, \dots, \delta_{sj}^h)^T$ بازده به مقیاس کاهشی است.

۴. کاربرد از بازده به مقیاس جهتی سمت راست و چپ زنجیره تامین

در این بخش کاربرد مدل‌های ارایه شده جهت تخمین بازده به مقیاس جهتی از سمت راست و چپ زنجیره تامین برای تحلیل صنعت برق ایران ارایه می‌شود و همچنین مجموعه داده‌های مدل اعم از ورودی‌ها و خروجی‌ها و فاکتورهای دو نقشی و اندازه‌های میانی معرفی می‌شوند و سرانجام نتایج حاصل از اجرای مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

۱.۴ مجموعه داده‌ها در مدل‌های تخمین بازده به مقیاس زنجیره تامین

فاکتورهای دو نقش ورودی و خروجی نقش بسیار مهمی در مدیریت یک زنجیره تامین پایدار ایفا می‌کنند به عنوان مثال در صنعت برق ایران ارسال کنندگان سوخت مورد نیاز نیروگاه‌های برق با منظور نمودن هزینه‌های مربوط به طرح توسعه و تحقیقات می‌توانند میزان گاز فلرینگ را در میادین نفت و گاز کاهش دهند این هزینه از جنبه نظر تصمیم‌گیرنده که قصد دارد بهترین ارسال کننده باشد یک مولفه مهم به شمار می‌آید و بعنوان شاخص ورودی در نظر گرفته می‌شود از طرفی بکار بردن این هزینه نه تنها می‌تواند سبب کاهش انتشار گازهای آلوده حاصل از سوزاندن گاز در میادین نفت و گاز شود بلکه میلیون‌ها متر مکعب گاز را به چرخه گاز طبیعی برگشت می‌دهد و علاوه از انتشار گازهای گلخانه‌ای جلوگیری می‌شود بطوریکه علاوه بر بازده اقتصادی و حفظ محیط از آلودگی‌ها، کیفیت و راندمان تولید را افزایش می‌دهد بنابر این بعنوان شاخص خروجی در نظر گرفته می‌شود. این مطالعه هزینه‌های بازیابی گاز فلرینگ در میادین نفت و گاز و مصارف داخلی نیروگاه‌ها اعم از مصارف فنی و غیر فنی را در بخش نیروگاهی و همچنین نیروی انسانی جهت آموزش در سطح توسعه و بهره‌برداری خطوط انتقال در بخش انتقال را بعنوان شاخص‌های دو نقش ورودی و خروجی در نظر گرفته است.

در مثال کاربردی، زنجیره تامین در صنعت برق شامل پنج مرحله اصلی می‌باشد که هر مرحله شامل مجموعه‌ای از بخش‌هاست که توسط اندازه‌های میانی به بخش‌های مرحله بعدی متصل می‌شوند. پنج مرحله زنجیر تامین از ارسال کنندگان سوخت، ژنراتورهای برق (نیروگاه‌های برق)، شبکه انتقال، ظرفیت‌های توزیع و مصرف کنندگان پایانی تشکیل می‌شود. هر زنجیره تامین شامل دو ارسال کننده سوخت مانند نفت، گازوئیل، نفت کوره (کمپانی‌های نفت) و گاز (کمپانی‌های گاز) که تامین کنندگان سوخت مورد نیاز نیروگاه‌ها (محصولات میانی) می‌باشند به طوری که تامین کنندگان سوخت یک ورودی (سرمایه) و یک ورودی بصورت نیروی انسانی استفاده می‌کنند و یک خروجی مطلوب بصورت نفت و گاز فروخته شده به سایر کمپانی‌ها را تولید می‌کنند. خروجی مطلوب میادین نفتی و گازی بصورت تفاضل میانگین ظرفیت تولید روزانه از مقادیر نفت و گاز ارسال شده به نیروگاه‌ها محاسبه می‌شود. همچنین هزینه برگشت گاز فلرینگ به چرخه گاز طبیعی و سهم مصرف سوخت (نفت، گازوئیل و گاز) نسبت به ارسال کنندگان بعنوان

فاکتورهای دو نقشی در نظر گرفته می‌شوند. در بخش نیروگاهی جهت استفاده از ظرفیت کل نیروگاه‌های موجود در ده زنجیره تامین برق حداقل سه نیروگاه برای هر تامین کننده در نظر گرفته شده است بطوریکه هر نیروگاه شامل مجموعه‌ای از نیروگاه‌ها با تکنولوژی-های متفاوت می‌باشد لذا تولید کنندگان برق (نیروگاه‌ها) شامل حداقل سه نیروگاه با تکنولوژی‌های حرارتی، سیکل ترکیبی، گازی، برق آبی، بادی و خورشیدی می‌باشند که از دو نوع ورودی سوخت و نیروی کار برای تولید الکتریسیته استفاده می‌نمایند. نیروگاه‌ها برق تولید شده را به کمپانی‌های برق منطقه‌ای می‌فروشند و همچنین برای افزایش ظرفیت خودشان با جایگزین نمودن نیروگاه‌های موجود با نیروگاه‌های کارآتر اقدام به ساخت نیروگاه‌های جدید می‌نمایند بطوریکه خروجی مطلوب نیروگاه‌ها مقدار الکتریسیته تولید شده و ارسال شده به کمپانی‌های برق منطقه‌ای در نظر گرفته می‌شود. شاخص‌های دو نقش ورودی و خروجی بصورت مصارف الکتریسیته داخلی نیروگاه‌ها اعم از مصارف فنی و غیر فنی و ضریب بهره‌وری نیروگاه‌ها تعریف می‌شوند. کمپانی‌های برق منطقه‌ای جریان الکتریسیته برق را از نیروگاه‌ها به کمپانی‌های توزیع برق انتقال می‌دهند و آنها ظرفیت و طول خطوط انتقال را به عنوان ورودی و الکتریسیته ارسال شده به کمپانی‌های توزیع برق را بصورت خروجی مطلوب در نظر می‌گیرند همچنین استفاده از نیروی انسانی کارآمد در خطوط انتقال و بهره‌برداری و ظرفیت پست انتقال بعنوان شاخص‌های دو نقش ورودی و خروجی در نظر گرفته می‌شوند. کمپانی‌های توزیع برق، جریان الکتریسیته دریافت شده از کمپانی‌های برق منطقه‌ای را به مصرف کنندگان توزیع می‌کنند و آنها از دو نوع ورودی بصورت ظرفیت و طول خطوط توزیع برق استفاده می‌نمایند بطوریکه یک خروجی مطلوب پایانی به عنوان جریان الکتریسیته ارسال شده به مشترکین برق را تولید می‌نمایند و سرانجام مشترکین جریان برق به بخش‌های خانگی، عمومی، کشاورزی و صنعتی دسته‌بندی می‌شوند به طوری که آنها از یک ورودی بصورت میانگین هزینه سوخت مصرفی همراه با یارانه سوخت استفاده می‌نمایند همچنین فروش جریان برق به مشترکین بصورت یک خروجی مطلوب در نظر گرفته شده است. پارامترهای بکار برده شده در مدل زنجیره تامین بصورت زیر تعریف می‌شوند.

h_s - شمارنده کمپانی‌های تامین کننده سوخت ($h(s) = 1, 2$)

$x_{1j}^{h(s)}$ - ظرفیت تولید سالانه از $h(s)$ کمپانی نفت (هزار بشکه) و گاز (میلیون متر مکعب) در j امین رنجیره تامین
 $y_{1j}^{h(s)}$ - نفت (هزار بشکه) و گاز (میلیون متر مکعب) فروخته شده از $h(s)$ امین کمپانی نفت و گاز به سایر کمپانی‌ها (غیر از

نیروگاه‌ها) در j امین زنجیره تامین

$w_{1j}^{h(s)}$ - هزینه بازبایی گاز سوزانده شده (گاز فلرینگ) از $h(s)$ امین کمپانی نفت و گاز در j امین زنجیره تامین (میلیون دلار)
 $w_{2j}^{h(s)}$ - سهم تامین سوخت نفت (10^6 L) و گاز (10^6 m³) از $h(s)$ امین کمپانی نفت و گاز در j امین زنجیره

تامین

$h(m)$ - شمارنده نیروگاه‌ها ($h(m) = 3, 4, 5$)

$x_{1j}^{h(m)}$ - ظرفیت نامی سالانه از $h(m)$ امین نیروگاه در j امین زنجیره تامین (میلیون کیلو وات ساعت)

$x_{2j}^{h(m)}$ - تعداد کارکنان نیروگاه از $h(m)$ امین نیروگاه در j امین زنجیره تامین

$y_{1j}^{h(m)}$ - کل الکتریسیته ارسال شده به کمپانی‌های انتقال از $h(m)$ امین نیروگاه در j امین زنجیره تامین

$w_{1j}^{h(m)}$ - مصرف داخلی جریان الکتریسیته (مصارف فنی و غیر فنی) از $h(m)$ امین نیروگاه در j امین زنجیره تامین (میلیون کیلو وات ساعت)

$w_{2j}^{h(m)}$ - ضریب بهره‌وری $h(m)$ امین نیروگاه در j امین زنجیره تامین (/.)

$h(t)$ - شمارنده شرکت‌های برق منطقه ای ($h(t) = 6, 7$)

$x_{1j}^{h(t)}$ - ظرفیت خطوط انتقال جریان الکتریسیته از $h(t)$ شرکت برق منطقه‌ای در j امین زنجیره تامین (مگاوات آمپر)
 $x_{2j}^{h(t)}$ - طول خطوط انتقال جریان الکتریسیته از $h(t)$ کمپانی برق منطقه‌ای در j امین زنجیره تامین (کیلومتر مدار)
 $y_{1j}^{h(t)}$ - کل الکتریسیته ارسال شده جهت توزیع به کمپانی‌های توزیع برق از $h(t)$ در j امین زنجیره تامین
 $w_{1j}^{h(t)}$ - کارکنان حوزه معاونت انتقال و بهره‌برداری از $h(t)$ امین شرکت برق منطقه‌ای در j امین زنجیره تامین
 $w_{2j}^{h(t)}$ - ظرفیت پست انتقال $h(t)$ امین شرکت برق منطقه‌ای در j امین زنجیره تامین (/.)
 $h(d)$ - شمارنده شرکت‌های توزیع برق ($h(d) = 8, 9, 10, 11$)
 $x_{1j}^{h(d)}$ - ظرفیت خطوط توزیع جریان الکتریسیته از $h(d)$ امین کمپانی‌های توزیع برق در j امین زنجیره تامین (مگا ولت آمپر)
 $x_{2j}^{h(d)}$ - طول خطوط توزیع جریان الکتریسیته از $h(d)$ کمپانی‌های توزیع برق در j امین زنجیره تامین (کیلومتر)
 $y_{1j}^{h(d)}$ - تعداد کنتورهای نصب شده کمپانی‌های توزیع از $h(d)$ کمپانی توزیع در j امین زنجیره تامین
 $h(c)$ - شمارنده مصرف‌کنندگان جریان برق الکتریسیته ($h(c) = 12, 13, 14, 15$)
 $x_{1j}^{h(c)}$ - میانگین هزینه سوخت مصرفی با یارانه سوخت جهت تولید جریان الکتریسیته از $h(c)$ بخش مصرف کننده در j امین زنجیره تامین (ریال)
 $y_{1j}^{h(c)}$ - فروش جریان الکتریسیته به مشترکان در بخش‌های متفاوت از $h(c)$ بخش مصرف کننده در j امین زنجیره تامین (میلیون کیلو وات ساعت)

$V_{pj}^{(h,h')}$ - اندازه میانی از h به بخش h'

$z_{aj}^{(h_m, h_s)}$ - مقدار الکتریسیته ارسال شده از نیروگاه‌ها به میادین نفت و گاز (میلیون کیلو وات ساعت)

$z_{aj}^{(h_t, h_m)}$ - تعداد نیروی کار متخصص ارسال شده از کمپانی‌های برق منطقه‌ای به نیروگاه‌ها جهت تعمیر و نگهداری سیستم‌های نیروگاهی

مجموعه داده‌های مدل از وب سایت توانیر کمپانی صنعت برق ایران [32] در سال ۲۰۱۵ جمع‌آوری شده است. مقدار انتشارات گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها در نیروگاه‌ها در جریان تولید الکتریسیته بر اساس نوع و مقدار سوخت مصرفی نیروگاه‌ها به صورت خروجی‌های نامطلوب محاسبه می‌شوند. تمامی داده‌ها در دو میدان نفتی و گازی (ارسال کننده‌های سوخت) نیروگاه‌های برق (تولیدکنندگان) کمپانی‌های برق منطقه‌ای (انتقال دهندگان برق) کمپانی‌های توزیع (بخش کنندگان) و مشترکین برق (خانگی، عمومی، کشاورزی و صنعتی) در وب سایت توانیر موجود است. همچنین یک ورودی تامین کنندگان سوخت از آمار میدان‌های نفتی و گازی در صنعت انرژی ایران بدست آمده است و خروجی مطلوب بصورت تفاوت بین میانگین تولید سالانه نفت و گاز و مقادیر ارسال شده به نیروگاه‌ها محاسبه شده است. اولین شاخص دو نقش ورودی و خروجی بر اساس سرمایه‌گذاری جهت جلوگیری از گازهای فلرینگ بصورت هزینه مصرف شده جهت برگشت آن به چرخه گاز در میدان‌های نفت و گاز محاسبه می‌شود و سهم تامین سوخت (نفت، گازوئیل و گاز) نیروگاه‌ها توسط میادین نفت و گاز بصورت دومین شاخص دو نقشی در نظر گرفته می‌شود. اطلاعات مربوط به مقدار و نوع سوخت نیروگاه‌ها از کمپانی توانیر در صنعت برق ایران جمع‌آوری شده است و بصورت اندازه میانی از میدان‌های نفت و گاز به نیروگاه‌ها معرفی شده است. ظرفیت نامی آنها بصورت ظرفیت و تعداد کارکنان نیروگاه‌ها بصورت ورودی انتخاب شده‌اند. همچنین آمار خروجی مطلوب تولیدکنندگان برق از مقدار کل الکتریسیته تولید شده و ارسال شده به کمپانی‌های انتقال برق محاسبه می‌شود. شاخص‌های دو نقش ورودی و خروجی بر اساس مصارف فنی و غیر فنی و ضریب بهره‌وری نیروگاه‌ها از بخش تولید کمپانی توانیر بدست آمده است. داده‌های ورودی و خروجی مطلوب کمپانی‌های برق منطقه‌ای از بخش انتقال صنعت برق جمع‌آوری شده است

همچنین فاکتورهای دو نقشی جهت آموزش و برنامه‌ریزی و تحقیقات جهت ارتقای سطح دانش و پیشرفت تکنولوژی کارکنان در بهره‌برداری از خطوط انتقال جریان الکتریسیته بمنظور کاهش تلفات برق و ظرفیت پست انتقال تعریف شده است. تمامی داده‌های کمپانی توزیع از بخش توزیع وب سایت کمپانی توانیر صنعت برق بدست آمده است همچنین ورودی‌های چهار بخش مشترکین برق بصورت میانگین هزینه مصرفی سوخت و یارانه سوخت جهت تولید برق از کمپانی توانیر جمع‌آوری شده و خروجی مطلوب بصورت فروش جریان الکتریسیته در بخش‌های خانگی، عمومی، کشاورزی و صنعتی بوسیله اندازه‌های میانی ارسال شده از کمپانی‌های توزیع برق به چهار مشترکین برق و بر اساس آمار درصد برق مصرفی چهار بخش مصرف‌کنندگان از وب سایت توزیع کمپانی توانیر محاسبه شده است. بعلاوه اندازه‌های میانی از ارسال‌کنندگان سوخت به نیروگاه‌ها مقادیر سوخت مورد نیاز نیروگاه‌ها جهت تولید برق می‌باشند و اندازه‌های میانی از نیروگاه‌ها به خطوط انتقال و از خطوط انتقال به خطوط توزیع جریان برق از وب سایت کمپانی توانیر صنعت برق بدست آمده‌اند. مجموعه داده‌های متناظر با ده زنجیره تامین تحت بررسی در جدول‌های ۱ تا ۱۲ معرفی شده است.

جدول‌های ۱ تا ۶ ورودی‌های پانزده بخش از ده زنجیره تامین را نشان می‌دهند. جدول ۱ ورودی‌های تامین‌کنندگان سوخت نیروگاه‌ها (ارسال‌کنندگان سوخت) را نشان می‌دهد. در جدول ۲ ورودی‌های مربوط به نیروگاه‌ها در ده زنجیره تامین ارایه شده است. در جدول‌های ۳، ۴ و ۵ داده‌های ورودی دو بخش انتقال جریان الکتریسیته و چهار بخش توزیع برق نشان داده شده است. سرانجام داده‌های ورودی چهار مشترکین برق خانگی، عمومی، کشاورزی و صنعتی در جدول ۶ معرفی شده است. همچنین جدول‌های ۷ تا ۱۰ داده‌های خروجی برای پانزده بخش و ده زنجیره تامین را نشان م‌دهند. مقادیر فاکتورهای دو نقشی برای بخش‌های انرژی، نیروگاهی و خطوط انتقال در جدول‌های ۱۱ و ۱۲ درج شده است.

جدول ۱. ورودی میادین نفت و گاز

DMU	supplier 1 (division 1)		supplier 2 (division 2)	
	Capacity(10^3 barrels) X_{1k}^1	Labor	Capacity(10^6 m ³) X_{1k}^2	Labor
1	2550	3200	7200	2500
2	61200	1300	21600	2500
3	21600	3200	10800	2400
4	32400	31100	6480	1400
5	12600	2800	19440	3000
6	43200	2200	10800	2400
7	46800	2400	10800	1380
8	39600	1600	21600	2250
9	9360	2150	19440	2180
10	64800	2500	6480	2900

Source: <http://ministry oil petroleum oil and gas fields of Iran>

جدول ۲. ورودی نیروگاه‌ها

DMU	Manufacturer 1 (Division 3)		Manufacturer 2 (Division 4)		Manufacturer 3 (Division 5)	
	Power nominal (10 ⁶ kwh)	labor	Power nominal (10 ⁶ kwh)	labor	Power nominal (10 ⁶ kwh)	labor
	X_{1k}^3	X_{2k}^3	X_{1k}^4	X_{2k}^4	X_{1k}^5	X_{2k}^5
1	63224	4070	15408	1600	11903	1200
2	16200	2263	10400	700	2626.952	2600
3	10448	1000	5701.12	3300	16760	2005
4	8022.4	1000	8622.4	3300	8344	2005
5	5184	890	1920.48	900	16417.760	2823
6	13672.88	2300	3312	2500	3936	800
7	966.32	1450	8352	2700	17844.8	890
8	1491.2	1520	10320	2260	16800	1300
9	3872	1500	10590	3600	7072	4100
10	11453.6	3180	6787.200	760	2053.28	1590

Source: <http://amar.tavanir.org.ir//tolid> and calculations million kilo watt hour

جدول ۳. ورودی خطوط انتقال

DMU	Transmitter 1 (division 6)		Transmitter 2 (division 7)	
	Capacity of regional company (Mwa)	Length line (Km circuit)	Capacity of regional company (Mwa)	Length line (Km circuit)
	X_{1k}^6	X_{2k}^6	X_{1k}^7	X_{2k}^7
1	27542	8704	25086	14697.700
2	41011	9127.800	4938	2244.500
3	13659	8643.400	41011	9127.800
4	16545	10367.900	41011	9127.800
5	6871	2850.700	13659	8643.400
6	14068	11166.400	4938	2244.500
7	14171	5780.500	8762	4480.400
8	10812	8273.300	15407	6095.800
9	25086	14697.700	7367	3776.100
10	10812	8273.300	7716.400	1453.800

Source: <http://amar.tavanir.org.ir//entagha>.

جدول ۴. ورودی‌های اولین و دومین خطوط توزیع

DMU	Distributor 1 (division 8)	Length line	Distributor 2 (division 9)	Length line
	Capacity of Distributer (Mwa)	(km)	Capacity of Distributer (Mwa)	(km)
	X_{1k}^8	X_{2k}^8	X_{1k}^9	X_{2k}^9
1	7792	40437	4067	60332
2	11349	64702	2330	19739
3	11349	64702	3068	28043
4	8612	12406	1787	8942
5	900	13383	2480	26770
6	11349	64702	3175	15731
7	3639	37153	1444	13785
8	2084	51688	4221	24689
9	7792	40437	1894	18162
10	2690	35606	2084	51688

Source: <http://amar.tavanir.org.ir//entaghaland> calculations loose of elect

جدول ۵. ورودی‌های سومین و چهارمین خطوط توزیع

DMU	Distributor 3 (division 10)	Length line	Distributor 4 (division 11)	Length line
	Capacity of Distributer (Mwa)	(km)	Capacity of Distributer (Mwa)	(km)
	X_{1k}^{10}	X_{2k}^{10}	X_{1k}^{11}	X_{2k}^{11}
1	3325	13761	4492	10052
2	1787	18122	1324	11101
3	3651	32533	900	13383
4	1874	12075	3175	56184
5	3965	32533	3068	28043
6	1324	11101	1894	18162
7	900	13383	11349	64702
8	4067	60332	5395	52340
9	3325	13761	4067	60332
10	4067	60332	5395	52340

Source: <http://amar.tavanir.org.ir//tozee>

جدول ۶. ورودی مشترکین برق

DMU	Customer 1 (Division 12) Average cost (Rial)	Customer 2 (Division 13) Average cost (Rial)	Customer 3 (Division 14) Average cost (Rial)	Customer 4 (Division 15) Average cost (Rial)
	x_{1k}^{12}	x_{1k}^{13}	x_{1k}^{14}	x_{1k}^{15}
1	1400	1094.800	1096.400	2802.500
2	1400	1094.800	1096.800	2802.500
3	1400	1094.800	1096.800	2802.500
4	1400	1094.800	1096.800	2802.500
5	1400	1094.800	1096.800	2802.500
6	1400	1098.800	1096.800	2802.500
7	1400	1098.800	1096.800	2802.500
8	1400	1098.800	1096.800	2802.500
9	1400	1098.800	1096.800	2802.500
10	1400	1098.800	1096.800	2802.500

Source: <http://amar.tavanir.org.ir/tozee>

جدول ۷. خروجی‌های مطلوب میادین نفت و گاز و اولین و دومین نیروگاه

DMU	Supplier 1 (Division 1) Sold oil (10^3 Barrels)	Supplier 2 (Division 2) Sold gas (10^6 mm ³)	Manufacture 1 (Division 3) Produced electricity (10^6 kWh)	Manufacture 2 (Division 4) Produced electricity (10^6 kWh)
	y_{1k}^1	y_{1k}^2	y_{1k}^3	y_{1k}^4
1	1739.6933	1186.216	17583.707	225.038
2	40572.9964	7203.23	16900	6081.337
3	8995.88282	3726.203	7144.31	3791.732
4	26527.1913	1930.025	4923.416	5556.65
5	4552.85776	10438.19	1677.428	1069.482
6	23324.3911	3350.675	8439.133	1214.901
7	17080.4711	2353.13	259.243	5970.148
8	15872.9136	9455.104	550.87	6689.385
9	6062.77171	9849.593	2796.766	5426.567
10	25603.3995	2208.415	7291.361	2448.571

Source: <http://ministry oil petroleum :oil and gas fields of Iran and calculation of sold oil and gas>

جدول ۸. خروجی‌های مطلوب سومین نیروگاه، اولین و دومین خطوط انتقال و اولین خط توزیع

DMU	Manufacture 3 (Division 5) Produced electricity (10 ⁶ kWh) y_{1k}^5	Transmitter 1 (Division 6) Transferred electricity (10 ⁶ kWh) y_{1k}^6	Transmitter 2 (Division 7) Transferred electricity (10 ⁶ kWh) y_{1k}^7	Distributor 1 (Division 8) Dispatched electricity (10 ⁶ kWh) y_{1k}^8
1	758.293	16340.32119	1665.992266	11438.22483
2	1066.752	11472.734	11849.10271	8030.9138
3	6718.574	5631.923613	11489.52298	8042.666089
4	4277.035	10539.24913	3772.187419	2640.531193
5	8238.071	2175.922416	8477.312158	652.7767247
6	2353.958	8184.271183	3568.859	356.8859
7	10644.237	14375.67571	1988.368721	10062.973
8	11825.766	12002.86159	6285.346146	8402.003115
9	3625.006	8778.215495	2712.303667	813.6911
10	1285.702	9445.786054	1246.8738	872.8116597

Source: <http://ministry oil petroleum :oil and gas fields of Iran and calculation of sold oil and gas>

جدول ۹. خروجی‌های مطلوب سه خط توزیع

DMU	Distributor 2 (Division 9) Dispatched electricity (10 ⁶ Kwh) y_{1k}^9	Distributor 3 (Division 10) Dispatched electricity (10 ⁶ Kwh) y_{1k}^{10}	Distributor 4 (Division 11) Dispatched electricity (10 ⁶ Kwh) y_{1k}^{11}
1	499.7976797	1166.194586	4902.096356
2	3441.8202	3554.730814	8294.371899
3	3446.856895	3942.346529	1689.577084
4	7377.474392	3916.212223	377.2187419
5	2543.193647	5934.118511	1523.145691
6	8184.271183	2498.2013	713.7718
7	1391.858104	596.5106162	4312.702714
8	4399.742302	1885.603844	8402.003115
9	1898.612567	2633.464649	6144.750847
10	6612.050238	2833.735816	374.0621399

Source: <http://amar.tavanir.org.ir//tozee>.

جدول ۱۰. خروجی‌های مطلوب چهار مشترک برق

DMU	Customer 1 (Division 12)	Customer 2 (Division 13)	Customer 3 (Division 14)	Customer 4 (Division 15)
	Sold electricity (10 ⁶ Kwh)	Sold electricity (10 ⁶ Kwh)	Sold electricity (10 ⁶ Kwh)	Sold electricity (10 ⁶ Kwh)
	y_{1k}^{12}	y_{1k}^{13}	y_{1k}^{14}	y_{1k}^{15}
1	6122.1466	3241.136421	2700.947017	5942.083438
2	5485.295924	2903.980195	2419.983496	5323.963691
3	5821.291843	3081.860387	2568.21699	5650.077377
4	4865.888427	2576.058579	2146.715482	4722.774061
5	3622.099755	1917.582223	1597.985186	3515.567409
6	3996.064262	2115.563433	1762.969528	3878.532961
7	5563.775108	2945.527998	2454.606665	5400.134663
8	6217.990631	3291.877393	2743.231161	6035.108554
9	3906.776515	2068.293449	1723.577874	3791.871324
10	3635.50435	1924.678774	1603.898978	3528.577752

Source: <http://amar.tavanir.org.ir/tozee>

جدول ۱۱. فاکتورهای دو نقشی میادین نفت و گاز و اولین نیروگاه

DMU	Supplier 1	Supplier 2		Manufacture 1		
	(Division 1)		(Division 2)		(Division 3)	
	Cost of cleanup Flaring gas (\$)	Share of fuel Consumption (10 ⁶ L)	Cost of cleanup Flaring gas (\$)	Share of fuel Consumption (10 ⁶ L)	Inner consumption (10 ⁶ kWh)	Utilization factor (%)
	W_{1k}^1	W_{2k}^1	W_{1k}^2	W_{2k}^2	W_{1k}^3	W_{2k}^3
1	0.010614	32	4.725	3495	598.2343	25.4
2	0.254745	652	10.8	3865	92.23374	56.7
3	0.084915	870	5.7375	4419	180.638	39.4
4	0.191059	1083	4.3875	6228	394.18	54.7
5	0.042458	338	11.475	1219	10.78	0
6	0.148601	270	5.7375	1832	25.767	50.8
7	0.148601	1029	5.4	2272	2.939	39.4
8	0.127373	1135	10.8	5720	81.863	83.4
9	0.038212	98	11.475	1377	42.59	68.2
10	0.254745	877	4.3875	3050	139.981	64.1

جدول ۱۲. فاکتورهای دو نقشی دومین و سومین نیروگاه و خطوط انتقال

DMU	Manufacture 2 (Division 4) Inner consumption (10 ⁶ kWh)	Utilization Factor (%)	Manufacture 3 Inner consumption (10 ⁶ kWh)	Utilization Factor (%)	Transmitter		Transmitter	
					1	Capacity of post	Capacity of post	
					Labor			
	W_{1k}^4	W_{2k}^4	W_{1k}^5	W_{2k}^5	W_{1k}^6	W_{2k}^6	W_{1k}^7	W_{2k}^7
1	0	64.1	0	59.2	1592	10.8	868	10.6
2	541.271	54.7	6.325	46.6	1155	16.3	183	1.3
3	291.751	59.1	103.532	56.7	729	5.9	1155	16.3
4	86.474	56.7	92.426	47.9	566	6.6	1155	16.3
5	96.326	39.4	47.29	59.1	330	2.7	729	5.9
6	10.299	46.6	35.847	68.2	559	8.7	183	1.3
7	424.975	56.7	290.054	42	615	5.7	330	2.7
8	0.063	59.2	782.689	25.7	88	4.2	479	5.6
9	102.151	64.1	45.519	64.1	868	10.6	231	2.4
10	170.387	83.4	138.404	55.3	88	4.2	426	2.6

۲.۴ نتایج و تحلیل داده‌ها

در این بخش یک حالت مطالعه بر اساس داده‌های سال ۲۰۱۵ به منظور تخمین بازده به مقیاس جهت در زنجیره تامین الکتریسیته با پانزده بخش ارایه می‌شود. در مرحله اول مدل ورودی محور شعاعی BCC (7) جهت تعیین کارایی بخش‌های زنجیره تامین بکار برده می‌شود. بدین طریق بخش‌های ناکارا و کارای ضعیف زنجیره تامین روی مرز کارای قوی تصویر می‌شوند سپس در مرحله بعد با قرار دادن نقاط تصویر روی مرز کارای قوی در مدل‌های (9) و (11) بازده به مقیاس جهت از سمت راست و چپ زنجیره تامین تخمین زده می‌شود.

شکل ۳ مراحل تخمین بازده به مقیاس جهت از چپ و راست را برای k امین زنجیره تامین نشان می‌دهد.

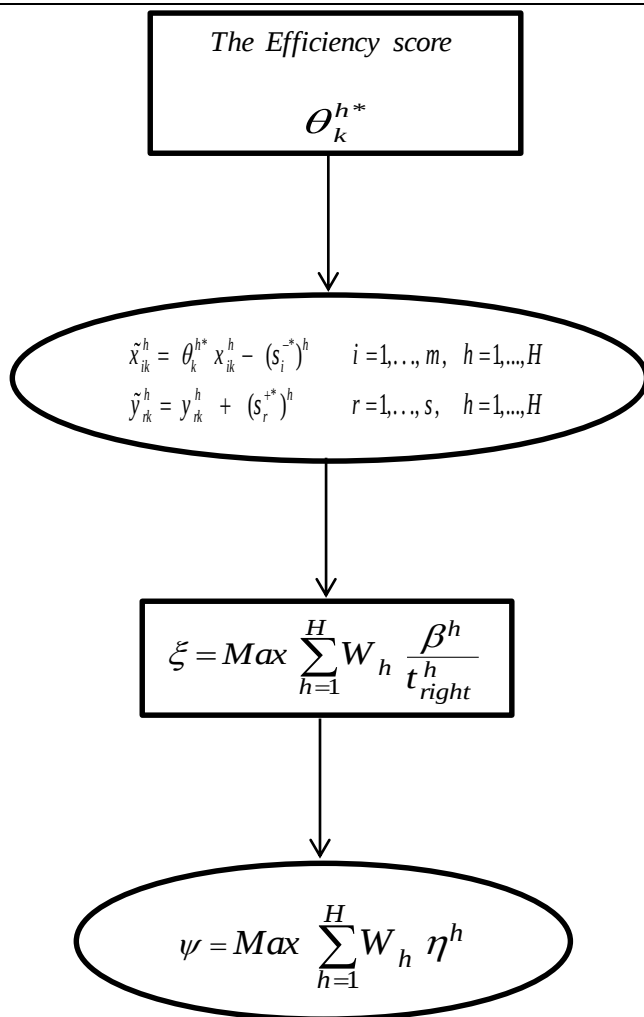
در این روش کارایی بخش‌های زنجیره تامین از مدل (7) بدست می‌آید به طوری که بخش‌های ناکارای زنجیره تامین به مرز کارای قوی بوسیله روابط (8) تصویر می‌شوند سپس با قرار دادن نقاط تصویر روی مرز کارا بصورت نقاط ورودی و خروجی جدید در مدل (9) تخمینی از بازده به مقیاس جهت از سمت راست بدست می‌آید. جهت تخمین بازده به مقیاس از سمت چپ k امین زنجیره

تامین ابتدا مدل (10) برای تعیین η_k^{h*} بکار برده می‌شود. اگر $\eta_k^{h*} \neq 0$ است آنگاه کاهش ورودی‌ها در جهت

امکان‌پذیر است در غیر این صورت طبق تعریف ۳،۳ بازده به مقیاس افزایشی است. بعلاوه $W^h = (w_{1k}^h, w_{2k}^h, \dots, w_{mk}^h)^T$

در تابع هدف ضرایب وزنی h امین بخش از یک زنجیره تامین است که توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود.

جدول (۱۳) نتایج کارایی مدل ورودی محور شعاعی (7) را برای پانزده بخش از ده زنجیره تامین نشان می‌دهد.



شکل ۳. مراحل تخمین بازده به مقیاس جهتی از راست و چپ

جدول ۱۳. امتیاز کارایی ده زنجیره تامین و پانزده بخش بر اساس بازده به مقیاس متغیر

DMU	ρ_o	θ_k^{S1}	θ_k^{S2}	θ_k^{M1}	θ_k^{M2}	θ_k^{M3}	θ_k^{T1}	θ_l^I	θ_k^{D1}	θ_k^{D2}	θ_k^{D3}	θ_k^{D4}	θ_k^{C1}	θ_k^{C2}	θ_k^{C3}	θ_k^{C4}
1	0.998	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.92	1	1	1	1	1
2	1.000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1.000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1.000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1.000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	0.974	1	1	1	1	1	1	1	1	0.31	1	1	1	1	1	1
8	0.979	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.29	1	1	1	1	1
9	0.999	1	1	1	1	1	0	0	0.90	0.97	1	1	1	1	1	1
10	0.990	0.65	1	1	1	1	1	1	1	0.89	0.83	1	1	1	1	1

اولین ستون سمت چپ جدول شماره (۱۳) کارایی کل ده زنجیره تامین را نشان می‌دهد همچنین کارایی نسبی پانزده بخش از ده زنجیره تامین در ستون‌های بعدی جدول ارائه شده است. از جدول به آسانی دیده می‌شود که تمامی بخش‌های زنجیره‌های تامین شماره دو، سه، چهار، پنج و شش با پانزده بخش کارا بیشترین کارایی را کسب کرده‌اند در حالیکه زنجیره تامین شماره هفت کمترین مقدار کارایی را در بین ده زنجیره تامین بدست آورده است.

به منظور تخمین بازده به مقیاس جهت از سمت راست و چپ یک زنجیره تامین ابتدا جهت‌هایی برای افزایش و کاهش ورودی‌ها سپس با قرار دادن جهت‌های مناسب از پیش فرض شده در مدل‌های (8) و (10) تخمینی از بازده به مقیاس جهت از سمت راست و چپ ده زنجیره تامین و پانزده بخش آن محاسبه می‌شود.

جدول ۱۴ بازده به مقیاس جهت از سمت راست و چپ ده زنجیره تامین کارای قوی را بر طبق پانزده جهت تعریف شده نشان می‌دهد.

بر طبق جدول ۱۴ زنجیره‌های تامین شماره ۳، ۴، ۵، ۶، ۸ و ۱۰ دارای موقعیت‌های مناسب بمنظور افزایش بازده اقتصادی می‌باشند به طوری که افزایش ورودی‌ها در بخش‌های زنجیره‌های تامین در جهت های مناسب سبب افزایش بازده به مقیاس می‌شود و بر اساس افزایش خروجی‌ها ظرفیت‌های لازم جهت پاسخگویی به نوسانات تقاضا را دارند. بخصوص زنجیره تامین شماره شش بهترین انتخاب‌ها را بمنظور افزایش ورودی‌ها در بخش‌های زنجیره تامین برای ارتقای بازده اقتصادی دارد. همچنین افزایش ورودی‌ها در زنجیره‌های تامین شماره ۱، ۲، ۷ و ۹ در جهت‌های تعریف شده افزایش بازده اقتصادی را فراهم نمی‌کند. زنجیره تامین شماره ۳ در جهت‌های بخصوصی از تغییرات ورودی‌ها دارای بازده به مقیاس افزایشی از هر دو سمت راست و چپ می‌باشد بنابراین مدیریت زنجیره تامین قادر است بر اساس انتخاب جهت مناسب و اختصاص منابع بیشتر به بخش‌هایی با ظرفیت‌های لازم افزایش راندمان اقتصادی را ایجاد نماید.

جدول ۱۴. بازده به مقیاس راست و چپ ده زنجیره تامین تحت پانزده جهت

Directions	(left/right)	(left/right)	(left/right)	(left/right)	(left/right)	(left/right)	(left/right)	(left/right)	(left/right)	(left/right)
	DMU1	DMU2	DMU3	DMU4	DMU5	DMU6	DMU7	DMU8	DMU9	DMU10
(1,2, 0.8)	D/I	D/D	D/D	I/I	I/D	I/I	D/I	D/I	D/I	I/D
(1,3, 0.7)	D/I	I/D	I/I	I/I	I/D	I/I	D/I	D/I	D/I	I/I
(1,5, 0.5)	D/I	I/D	I/D	D/D	I/D	I/I	D/I	D/I	D/I	D/D
(1,6, 0.4)	D/I	I/D	I/D	I/D	I/D	I/I	D/I	D/I	D/I	I/D
(1,7, 0.3)	D/I	D/D	D/D	D/D	I/I	I/I	I/D	I/I	I/D	D/D
(1,8, 0.2)	D/I	D/D	I/D	I/D	I/D	I/I	D/I	D/I	D/I	I/D
(1,9, 0.1)	D/I	D/D	I/I	I/I	I/I	I/I	D/I	D/I	D/I	D/I
(1, 1)	D/I	D/D	I/D	I/D	I/D	I/D	D/I	D/I	D/I	I/D
(0.1,1.9)	D/I	I/D	D/D	I/I	I/D	I/D	D/I	D/I	D/I	I/D
(0.2,1.8)	D/I	I/D	D/D	I/D	I/D	I/D	D/I	D/I	D/D	I/D
(0.5,1.5)	D/I	D/D	I/D	I/I	I/D	I/D	D/I	D/I	D/I	I/D
(0.6, 1.4)	D/I	D/D	D/D	I/I	I/D	I/D	D/I	D/I	D/I	I/D
(0.7, 1.3)	D/I	D/D	D/D	I/I	I/D	I/D	D/I	D/I	D/I	I/I
(0.8, 1.2)	D/I	D/D	I/D	I/I	I/D	I/I	D/I	D/D	D/I	I/I
(0.9, 1.1)	D/I	D/D	I/I	I/D	I/I	I/I	D/I	D/I	D/I	I/D

بر طبق نتایج بدست آمده اگر DMU_3 منابع بیشتری به بخش‌ها در راستای جهت‌های $(1.3, 0.7)$ ، $(1.9, 0.1)$ اختصاص دهد آنگاه بازده به مقیاس زنجیره تامین افزایشی است. به طوری که اختصاص منابع بیشتر به بخش‌های زنجیره تامین شماره سه در جهت $(1.3, 0.7)$ بازده به مقیاس افزایشی را در بخش‌های میدان گازی، دومین نیروگاه، اولین و چهارمین خطوط توزیع و چهار مشترکین برق فراهم می‌نماید در حالیکه سایر بخش‌ها بازده به مقیاس کاهشی دارند و اگر واگذاری منابع در بخش‌های زنجیره تامین در راستای جهت $(1.9, 0.1)$ باشد آنگاه دو بخش خطوط توزیع دارای بازده به مقیاس افزایشی هستند در حالیکه بازده به مقیاس سایر بخش‌ها کاهشی است. همچنین بیشترین مقدار تقریبی بازده به مقیاس زنجیره تامین شماره ۳ بر اساس افزایش ورودی‌ها در راستای جهت $(1.9, 0.1)$ بدست می‌آید. در صورتیکه افزایش برخی ورودی‌ها مانند نیروی کار در راستای جهتی با ارتقای بازده اقتصادی عملی و امکان‌پذیر نباشد تصمیم‌گیرنده می‌تواند مقیاس قبلی را بدون تغییر حفظ کند یا برای کنترل و جلوگیری از هدر رفت منابع را کاهش دهد. بکارگیری منابع بیشتری در بخش‌های زنجیره تامین شماره ۴ در راستای جهت $(1.9, 0.1)$ افزایش قابل توجه خروجی‌های تولید شده در بخش انرژی (میدان نفتی) و یک خط توزیع برق را فراهم می‌کند به طوری که بیشترین اندازه تقریبی بازده به مقیاس DMU_4 را نسبت به سایر جهت‌ها فراهم می‌نماید.

بطور مشابه افزایش ورودی‌ها در پانزده بخش زنجیره تامین شماره پنج در سه جهت $(1.7, 0.3)$ ، $(1.9, 0.1)$ و $(0.9, 1.1)$ بازده به مقیاس افزایشی کل زنجیره تامین را ایجاد می‌نماید. به عبارت دیگر اختصاص منابع بیشتر به بخش‌های DMU_5 در راستای جهت $(1.9, 0.1)$ افزایش قابل ملاحظه‌ای از تولید جریان الکتریسیته در بخش میدان نفتی و یک بخش نیروگاهی و افزایش انتقال جریان در یک خط انتقال برق و افزایش توزیع جریان برق دو خطوط توزیع و مشترکین برق خانگی، کشاورزی و عمومی فراهم می‌نماید بطوریکه بیشترین مقدار تقریبی بازده به مقیاس زنجیره تامین شماره پنج بر اساس تخصیص منابع در جهت $(1.9, 0.1)$ بدست می‌آید. تخمینی از بازده به مقیاس جهتی از سمت راست و چپ پانزده بخش و پانزده جهت زنجیره تامین کارای قوی شماره شش در جدول ۱۵ نشان داده شده است.

جدول ۱۵. بازده به مقیاس راست و چپ پانزده بخش زنجیره تامین شماره شش تحت پانزده جهت

Supplier															
Direction	S_1	S_2	M_1	M_2	M_3	T_1	T_2	D_1	D_2	D_3	D_4	C_1	C_2	C_3	C_4
$(1.2, 0.8)$	I/I	I/D	D/D	I/I	I/I	I/D	I/I	I/I	D/D	I/I	I/I	I/I	I/I	I/I	I/I
$(1.3, 0.7)$	D/D	D/D	D/I	I/I	I/I	I/I	I/I	I/I	D/D	I/I	D/I	I/I	I/I	I/I	I/I
$(1.5, 0.5)$	D/D	D/D	I/I	I/D	I/I	I/I	I/I	I/D	D/D	I/D	I/I	I/I	I/I	I/I	I/I
$(1.6, 0.4)$	I/D	I/D	I/D	I/D	I/I	I/D	I/D	I/I	D/D	I/D	I/I	I/D	I/D	I/D	I/I
$(1.7, 0.3)$	D/D	D/D	I/D	I/D	I/I	I/D	I/D	I/I	D/D	I/D	I/I	I/D	I/D	I/D	I/I
$(1.8, 0.2)$	D/D	I/D	D/D	I/D	I/D	I/I	I/D	I/I	D/D	I/D	I/I	I/I	I/I	I/I	I/I
$(1.9, 0.1)$	D/D	I/D	I/D	I/I	I/I	I/I	I/D	I/I	D/D	I/D	I/I	I/I	I/I	I/I	I/I
$(1, 1)$	D/D	I/D	D/D	I/D	I/D	I/D	I/D	I/I	I/D	I/I	I/I	I/D	I/D	I/D	I/D
$(0.1, 1.9)$	D/D	D/D	I/D	I/D	I/D	I/D	I/D	I/I	D/D	I/D	I/I	I/D	I/D	I/D	I/D
$(0.2, 1.8)$	D/D	D/D	I/D	I/D	I/D	I/D	I/D	I/I	D/D	I/D	I/I	I/D	I/D	I/D	I/D
$(0.5, 1.5)$	D/D	D/D	I/D	I/D	I/D	I/D	I/D	I/I	I/D	I/D	I/I	I/D	I/D	I/D	I/D
$(0.6, 1.4)$	D/D	D/D	I/D	I/D	I/D	I/D	I/D	I/I	I/I	I/D	I/I	I/D	I/D	I/D	I/D
$(0.7, 1.3)$	D/D	D/D	D/D	I/I	I/D	I/D	I/I	I/I	D/D	I/D	I/I	I/D	I/D	I/D	I/D
$(0.8, 1.2)$	D/D	D/D	I/I	I/I	I/D	I/D	I/I	I/I	D/D	I/D	I/I	I/D	I/D	I/D	I/D
$(0.9, 1.1)$	D/D	D/D	I/I	I/D	I/D	I/D	I/I	I/I	D/D	I/D	I/I	I/D	I/D	I/D	I/D

بر طبق جدول ۱۵ ستون‌های ۲-۳ بازده به مقیاس بخش‌های انرژی (میادین نفت و گاز) یا تامین‌کنندگان سوخت نیروگاه را برای پانزده جهت نشان می‌دهد. میادین نفت و گاز از بخش‌های انرژی زنجیره تامین مورد ارزیابی در تمامی جهت‌های تعریف شده از راست کاهشی هستند که در این حالت افزایش ورودی‌ها و یا بکارگیری بیشتر منابع و ظرفیت‌های موجود در میادین نفتی و گازی مجاز نمی‌باشد زیرا افزایش در استفاده بیشتر منابع کاهش بازده اقتصادی را ایجاد می‌نماید. همچنین افزایش در بکارگیری منابع و نیروی کار انسانی میدان نفتی تنها در یک حالت بازده به مقیاس افزایشی را ایجاد می‌نماید. از این رو مدیریت زنجیره تامین می‌تواند منابع بیشتری را به بخش میدان نفتی زنجیره تامین شماره شش اختصاص دهد در صورتی که منابع مورد استفاده و نیروی کار انسانی در جهت $\omega_1 = 1.2$ و $\omega_2 = 0.8$ افزایش یابند. برطبق اینکه بازده به مقیاس بر اساس جهت‌های تعریف شده از سمت چپ و راست میدان گازی زنجیره تامین شماره شش کاهشی است. بنابراین در این حالت تصمیم‌گیرنده می‌تواند به دو طریق عمل کند به طوری که یا مقیاس قبلی بدون تغییر حفظ کند و یا ورودی‌ها را کاهش دهد.

از طرف دیگر اگر کاهش بکارگیری منابع و نیروی کار امکان‌پذیر و عملی باشد در اینصورت تغییر ورودی‌ها سبب کنترل منابع و استفاده بهینه از ظرفیت‌ها می‌شود. در غیر این صورت اگر کاهش نیروی کار بر اساس یک نسبت مشابه از منابع قابل اجرا نباشد در این صورت حفظ مقیاس قبلی ورودی‌ها بهترین انتخاب برای میدان گازی زنجیره تامین شماره شش می‌باشد. بر طبق ستون‌های ۴-۶ جدول ۱۴ بازده به مقیاس جهتی از هر دو سمت راست و چپ بخش‌های نیروگاهی زنجیره تامین مورد ارزیابی DMU6 در راستای جهت‌های خصوصی افزایشی می‌باشد. بطوریکه مدیریت زنجیره تامین قادر است با اختصاص منابع بیشتری از ظرفیت نامی نیروگاه‌ها و نیروی کار انسانی در جهت‌های مناسب تولید جریان الکتریسته را افزایش دهد که سبب ارتقای راندمان اقتصادی می‌شود. اولین بخش نیروگاهی زنجیره تامین شماره شش بر اساس افزایش ورودی‌ها در جهت‌هایی با مقادیر ω_1 و ω_2 متعلق به اشتراک دو ناحیه $0.8 \leq \omega_1 \leq 0.9$ و $1.1 \leq \omega_2 \leq 1.2$ و همچنین مقادیر $\omega_1 = 1.5$ ، $\omega_2 = 0.5$ دارای بازده به مقیاس افزایشی از هر دو سمت راست و چپ می‌باشد. بعلاوه دومین و سومین بخش نیروگاهی زنجیره تامین شماره شش موقعیت‌های مناسبی برای افزایش بازده به مقیاس دارند به طوری که چندین ناحیه براساس نسبت افزایش ورودی‌ها بر طبق مقادیر ω_1 و ω_2 وجود دارند بطوریکه بازده به مقیاس افزایشی می‌شود. از اینرو بخش‌های نیروگاهی DMU6 قادرند با انتخاب جهت‌های مناسب به منظور افزایش ورودی‌ها سبب افزایش بازده به مقیاس شوند به طوری که با تولید جریان الکتریسته بیشتر ارتقای بازده اقتصادی را ایجاد کنند. به طور مشابه دو بخش انتقال جریان الکتریسته زنجیره تامین شش فرصت‌های مناسب برای انتخاب نسبت افزایش ورودی‌ها دارند همچنین آنها با افزایش ظرفیت و طول خطوط انتقال در راستای جهت‌های مناسب توانایی افزایش انتقال جریان الکتریسته به خطوط توزیع را دارند. همچنین چهار خطوط توزیع جریان الکتریسته دارای بازده به مقیاس متفاوتی در جهت‌های انتخابی می‌باشند. اولین و چهارمین خطوط توزیع در تمامی جهت‌های انتخابی به غیر از یک جهت از هر دو سمت راست و چپ بازده به مقیاس افزایشی دارند بنابر این تصمیم‌گیرنده می‌تواند ظرفیت و طول خطوط توزیع را در راستای جهت مناسب افزایش دهد بطوریکه جریان الکتریسته توزیع شده چهار مشترکین برق خانگی، عمومی، کشاورزی و صنعتی را افزایش دهد. بازده به مقیاس دومین خطوط توزیع زنجیره تامین مورد ارزیابی تنها در یک جهت از هر دو سمت راست و چپ افزایشی است در صورتی که افزایش ظرفیت و طول خطوط توزیع در راستای جهتی با مولفه‌های $\omega_1 = 0.6$ و $\omega_2 = 1.4$ امکان‌پذیر باشد تصمیم‌گیرنده می‌تواند با تخصیص منابع و ظرفیت‌های بیشتر جریان الکتریسته را جهت توزیع به مشترکین برق افزایش دهد. در غیر این صورت از آن جایی که در بیشتر جهت‌های تعریف شده بازده به مقیاس از هر دو سمت راست و چپ کاهشی است در این حالت اگر کاهش ورودی‌ها مطلوب و امکان‌پذیر باشد آنگاه منابع اختصاص یافته به صورت کارتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. سومین خطوط توزیع زنجیره تامین شش دارای موقعیت‌های مناسب به منظور افزایش راندمان اقتصادی است بخصوص چهارمین خطوط توزیع در تمامی جهت‌ها از سمت راست افزایشی و از سمت چپ به غیر از یک جهت افزایشی می‌باشد به این طریق مدیریت تصمیم می‌تواند منابع بیشتری را به این خط توزیع اختصاص

دهد زیرا افزایش ظرفیت و طول خطوط توزیع سبب ارتقای کارایی و بازده اقتصادی می‌شود. افزایش منابع زنجیره تامین شماره هشت تنها در یک جهت (0.3, 1.7) امکان‌پذیر است بطوریکه یک خط انتقال و یک خط توزیع با افزایش خروجی‌ها روبرو می‌شوند. نهایتاً اختصاص منابع بیشتر در بخش‌های DMU₁₀ در جهت‌های (0.7, 1.3)، (0.7, 1.3) و (0.8, 1.2) افزایش بازده به مقیاس را فراهم می‌کند همچنین بیشترین مقدار تقریبی بازده به مقیاس بر اساس افزایش ورودی‌ها در جهت (0.7, 1.3) بدست می‌آید در واقع افزایش تولید برق در دو بخش نیروگاهی و افزایش انتقال برق یک خط انتقال به شبکه توزیع و افزایش در توزیع جریان برق در دو خطوط توزیع بیشترین اندازه تقریبی بازده به مقیاس زنجیره تامین شماره ده را نسبت به سایر جهت‌ها فراهم نموده است. بطور کلی نتایج حاصل از تحلیل بازده به مقیاس بخش‌های انرژی، نیروگاهی، خطوط انتقال و توزیع زنجیره تامین نقش اساسی در تصمیم‌گیری جهت افزایش و کاهش ورودی‌ها بمنظور ارتقای سیستم را ایفا می‌کنند به طوری که استفاده از یک خط مشی و الگوی مناسب در جهت بکارگیری مناسب منابع بصورت کارا تر در بخش‌های زنجیره تامین نه تنها رونق اقتصادی را ایجاد می‌کند بلکه سبب اختصاص مفید منابع می‌شود. در واقع مزیت این روش این است که چندین انتخاب جهت افزایش و کاهش ورودی‌ها ارایه می‌شود بطوریکه تصمیم‌گیرنده قادر است با انتخاب جهت‌های مطلوب به منظور بکارگیری کارا تر منابع ارتقای بازده اقتصادی را ایجاد نماید. جدول ۱۶ بازده به مقیاس جهتی از سمت راست و چپ را برای پانزده جهت بمنظور افزایش یا کاهش ورودی‌ها در زنجیره تامین شش نشان می‌دهد.

جدول ۱۶. بازده به مقیاس جهتی زنجیره تامین شماره شش تحت پانزده جهت انتخابی

Case	DMU ₆ Direction		RST(Left) of supply chain 6	RST(Right) of supply chain 6	Direction RST (Left)	Direction RST (Right)
	ω_1	ω_2	ψ^*	ξ^*		
1	1.2	0.8	4.185	150.711	Increasing	Increasing
2	1.3	0.7	23.437	5.340	Increasing	Increasing
3	1.5	0.5	7.242	6.693	Increasing	Increasing
4	1.6	0.4	8.037	2.835	Increasing	Increasing
5	1.7	0.3	18.382	2.990	Increasing	Increasing
6	1.8	0.2	23.589	5.584	Increasing	Increasing
7	1.9	0.1	13.766	335.084	Increasing	Increasing
8	1	1	2.774	0.702	Increasing	Decreasing
9	0.1	1.9	3.238	4.568	Increasing	Decreasing
10	0.2	1.8	9.114	0.672	Increasing	Decreasing
11	0.5	1.5	19.822	6.693	Increasing	Decreasing
12	0.6	1.4	6.625	0.806	Increasing	Decreasing
13	0.7	1.3	4.097	0.816	Increasing	Decreasing
14	0.8	1.2	3.908	1.575	Increasing	Increasing
15	0.9	1.1	6.462	2.753	Increasing	Increasing

برطبق جدول ۱۶ بازده به مقیاس جهتی از هر دو سمت راست و چپ زنجیره تامین شش بر اساس جهت‌های تعریف شده افزایشی و از سمت راست افزایشی و کاهش می‌باشد. بنابراین تصمیم‌گیرنده می‌تواند منابع بیشتری را به بخش‌های زنجیره تامین شش اختصاص دهد. جهت شماره هفت با $\omega_1 = 1.9$ و $\omega_2 = 0.1$ بیشترین افزایش بازده به مقیاس را نسبت به سایر جهت‌ها ایجاد می‌کند.

بر طبق نتایج بدست آمده از اندازه‌های تقریبی بازده به مقیاس راست و چپ ده واحد تصمیم‌گیرنده زنجیره‌های تامین به دو دسته طبق زیر تقسیم می‌شوند.

الف. زنجیره‌هایی با افزایش قابل توجه‌ای از بازده اقتصادی در بین ۱۰ زنجیره‌های تامین وجود دارند بطوریکه اختصاص منابع در راستای جهت بخصوص افزایش قابل ملاحظه راندمان اقتصادی را در برخی بخش‌ها فراهم می‌نماید بطوریکه سایر بخش‌ها بازده به مقیاس کاهش نامحسوس دارند مانند DMU8 که از طریق افزایش منابع در جهت (0.3, 1.7) با افزایش چشمگیر مقدار تقریبی بازده به مقیاس در یک خطوط توزیع مواجه شده است و این موضوع سبب ارتقای قابل ملاحظه‌ای بازده اقتصادی را در زنجیره تامین شماره هشت فراهم نموده است.

ب. بر اساس افزایش منابع در راستای جهت‌هایی که بازده به مقیاس افزایشی از هر دو سمت چپ و راست را فراهم می‌کنند مدیریت تصمیم قادر است افزایش ورودی‌ها را در جهتی انتخاب نماید که بازده اقتصادی را در بخش‌های مورد نظر فراهم سازد. بعنوان مثال اگر افزایش خروجی‌ها در بخش انرژی مورد نظر باشد مناسب‌ترین راستا جهت افزایش ورودی‌های زنجیره تامین شماره ۴ جهت (0.1, 1.9) است. بطوریکه خروجی میدان گازی افزایش قابل توجه‌ای خواهد داشت. بنابر این تصمیم‌گیرنده با انتخاب جهت مناسب قادر است منابع بخش‌ها را به گونه‌ای تخصیص دهد تا افزایش بازده اقتصادی در بخش‌های مورد نظر فراهم شود. بعبارت دیگر زنجیره تامین شماره ۴ دارای چندین جهت بمنظور افزایش ورودی‌ها در بخش‌های زنجیره تامین می‌باشد. همچنین زنجیره‌های تامین شماره ۱، ۲، ۷ و ۹ تحت پانزده جهت تعریف شده بازده به مقیاس افزایشی ندارند در اینحالت تصمیم‌گیرنده می‌تواند مقیاس قبلی را حفظ کند یا در صورت امکان جهت کنترل منابع ورودی‌ها را کاهش دهد.

۵. نتایج

بازده به مقیاس جهتی بمنظور تحلیل شاخص‌های تولید واحدهای تصمیم‌گیرنده تحت جهت‌های مناسب برای کنترل منابع و بکارگیری مفید ظرفیت‌ها استفاده می‌شود. در واقع اطلاعات مربوط به نوع بازده به مقیاس در تعیین ترکیب منطقی از منابع نقش اساسی را در مدیریت ظرفیت‌ها ایفا می‌نماید. شناسایی بخش‌هایی از زنجیره تامین الکتریسیته و انتخاب جهت مناسب به منظور تغییرات فاکتورهای تولید نه تنها سبب کنترل منابع و مدیریت ظرفیت‌ها می‌شود و تاثیر قابل ملاحظه‌ای در راندمان و بازده اقتصادی دارد بلکه محیط زیست را نیز از تاثیرات منفی گازهای گلخانه‌ای محفوظ نگه می‌دارند. در این مطالعه نوع بازده به مقیاس جهتی و تخمینی از اندازه کشسانی مقیاس برای بخش‌های زنجیره تامین الکتریسیته تحت پانزده جهت به منظور تغییر غیرمتناسب شاخص‌های تولید محاسبه شده است. این مطالعه دارای دو نتیجه کاربردی برای تخمین بازده به مقیاس جهتی بخش‌های زنجیره تامین الکتریسیته در صنعت برق می‌باشد. اولاً الگویی مناسب به منظور اختصاص منابع به بخش‌های زنجیره تامین در راستای جهت‌هایی با رشد بازده اقتصادی فراهم می‌شود به طوری که تصمیم‌گیرنده قادر می‌شود جهت‌های را برای افزایش ورودی‌ها انتخاب نماید بطوریکه بکارگیری منابع در بخش‌های بخصوصی بازده اقتصادی قابل ملاحظه‌ای را فراهم نماید. ثانیاً با در دست داشتن الگویی مناسب از جهت‌ها برای افزایش منابع بخش‌های زنجیره تامین علاوه بر اطلاعاتی در رابطه با اندازه تقریبی بازده به مقیاس زنجیره تامین می‌توان مشخصات بازده به مقیاس بخش‌ها را نیز بدست آورد زیرا با وجود بازده به مقیاس افزایشی زنجیره تامین ممکن است برخی از بخش‌ها دارای بازده به مقیاس کاهش باشند. بنابر این تصمیم‌گیرنده می‌تواند مقیاس قبلی را بدون تغییر حفظ کند و یا

اگر کاهش ورودی‌ها قابل اجرا و امکان‌پذیر باشد با کاهش ورودی‌ها در جهت کنترل منابع کارایی عملکردی و محیطی بخش‌های زنجیره تامین را ارتقا دهد و از هدر رفت منابع جلوگیری نماید. مطالعه ارایه شده دارای دو نتیجه کاربردی است. اولاً تصمیم‌گیرنده قادر است با انتخاب جهت‌ها به منظور بکارگیری کاراتر منابع مطلوب در بخش‌های بخصوص زنجیره تامین ارتقای بازده اقتصادی را ایجاد نماید که این موضوع سبب جلوگیری از هدر رفت منابع می‌شود. ثانیاً بر طبق این که بخش‌های انرژی و نیروگاهی زیر ساختار اساسی هر ناحیه‌ای محسوب می‌شوند لذا افزایش بازده اقتصادی در بخش‌های انرژی و نیروگاهی از اهمیت بخصوصی برخوردار است. انتخاب جهت مناسب نه تنها سبب تولید بیشتر انرژی می‌شود بلکه از انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های سمی در میادین نفت و گاز و نیروگاه‌ها جلوگیری می‌کند. بعلاوه مدل ارایه شده در محاسبه امتیاز کارایی زنجیره‌های تامین شامل محدودیت‌هایی می‌باشد. منابع انرژی در مناطق مختلف متفاوت است به طوری که زنجیره‌های تامین هر ناحیه دارای ساختار اساسی و شرایط متفاوت بخصوصی برای فعالیت‌های کسب و کار می‌باشند. به عبارت دیگر مناطق جنوبی ایران دارای منابع انرژی قابل توجه و ظرفیت‌های بالایی از نیروگاه‌ها در مقایسه با سایر مناطق می‌باشند این چنین تفاوت‌های ناحیه‌ای تاثیر قابل ملاحظه‌ای در امتیاز کارایی ایجاد می‌نمایند. این مطالعه نیازمند تحقیقات بیشتری در مسئله مطرح شده می‌باشد به طوری که علاوه بر تعیین نوع بازده به مقیاس تخمین اندازه بازده به مقیاس بخش‌های زنجیره تامین می‌تواند اطلاعات دقیق و مفیدی را در اختیار مدیران قرار دهد.

منابع:

- [1] Golany B, Yu G. 1997. Estimating returns to scale in DEA. *Eur J Oper Res*. 103:28–37.
- [2] Huang Z, Li SX, Rousseau JJ. 1997. Determining rates of changes in data envelopment analysis. *Journal Operation Research Society*. 48:591–599.
- [3] Rosen D, Schaffnit C, Paradi JC. 1998. Marginal rates and two-dimensional level curves in DEA. *J Product Anal*. 9:205–232.
- [4] Asmild, M., J. C. Paradi, D. N. Reese. 2006. Theoretical perspectives of trade-off analysis using DEA. *Omega* 34 337–343.
- [5] Charnes, A., W. W. Cooper, B. Golany, L. Seiford, J. Stutz. 1985. Foundation of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions. *J. Econometrics* 30 91–107.
- [6] Banker, R. D., A. Maindiratta. 1986. Piecewise loglinear estimation of efficient production surfaces. *Management Science*. 32 126–135.
- [7] Cooper WW, Seiford LM, Tone K. 2000. Data envelopment analysis. Boston (MA): Kluwer Academic Publishers.
- [8] Banker RD. 1984. Estimating the most productive scale size using data envelopment analysis. *European Journal Operation Research*. 17:35–44.
- [9] Banker RD, Charnes A, Cooper WW. 1984. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. . *Management Science*. 30:1078–1092.
- [10] Podinovski VV. 2009. Production technologies based on combined proportionality assumptions. *J Product Annals*. 32:21–26.
- [11] Podinovski VV, Førsund FR. 2010. Differential characteristics of efficient frontiers in data envelopment analysis. *Operation Research*. 58:1743–1754.
- [12] Førsund FR. 1996. On the calculation of the scale elasticity in DEA models. *Journal Product Annals*. 7:283–302.
- [13] Førsund, F.R., Hjalmarsson, L., 2004. Calculating scale elasticity in DEA models. *Journal of the Operational Research Society* 55, 1023–1038.
- [14] Podinovski VV, Ismail I, Bouzdine-Chameeva T, Wenjuan Zhang WJ. 2014. Combining the assumptions of variable and constant returns to scale in the efficiency evaluation of secondary schools. *European Journal Operation Research*. 239:504–513.
- [15] Banker RD, Thrall RM. 1992. Estimation of returns to scale using data envelopment analysis. *European Journal Operation Research*. 62:74–84.
- [16] Zhu J, Shen ZH. 1995. A discussion of testing DMUs' returns to scale. *European Journal Operation Research*. 81:590–596.
- [17] Tone K, Sahoo BK. 2003. Scale, indivisibilities and production function in data envelopment analysis. *International Journal Production Economic*. 89:165–195.

- [18] Sueyoshi T. 1999. DEA duality on returns to scale (RTS) in production and cost analyses: an occurrence of multiple solutions and differences between production-based and cost-based RTS estimates. *Management Science*. 45:1593–1608.
- [19] Eslami R, Khoveyni M. 2013. Right and left returns to scales in data envelopment analysis: determining type and measuring value. *Computer Ind Engineering*. 65:500–508.
- [20] Zhu J. 1996. Data envelopment analysis with preference structure. *Journal Operation Research* 47:136–150.
- [21] Tone K. 2002. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis. . *European Journal Operation Research*. 143:32–41.
- [22] Chen Y. 2003. Non-radial Malmquist productivity index with an illustrative application to Chinese major industries. *International Journal Production Economic*. 83:27–35.
- [23] Banker RD, Cooper WW, Seiford LM, Thrall RM, Zhu J. 2004. Returns to scale in different DEA models. *Eur J Oper Res*. 154:345–362.
- [24] Fukuyama H. 2003. Scale characterization in a DEA directional technology distance function framework. *European Journal Operation Research*. 144:108–127.
- [25] Sahoo, B. K., Zhu, J., Tone, K., & Klemen, B. M. (2014). Decomposing technical efficiency and scale elasticity in two-stage network DEA. *European Journal of Operational Research*, 233(3), 584-594.
- [26] Azizi Usefvand, R., Kordrostami, S., Amirteimoori, A., & Daneshmand-Mehr, M. (2022). Estimating the directional scale elasticity of two-stage processes in the presence of undesirable outputs. *Modern Research in Decision Making*, 7(3), 57-88.
- [27] Fakhr Mousavi, S. M., Amirteimoori, A., Kordrostami, S., & Vaez-Ghasemi, M. (2023). Non-radial two-stage network DEA model to estimate returns to scale. *Journal of Modelling in Management*, 18(1), 36-60.
- [28] Khoveyni M, Eslami R, Yang GL. 2016. Data envelopment analysis in the absence of convexity: specifying efficiency status and estimating returns to scale. *Journal Computer Applied Mathematics*. 304:172–200.
- [29] Khodabakhshi M, Gholami Y, Kheirollahi H. 2010. An additive model approach for estimating returns to scale in imprecise data envelopment analysis. *Applied Mathematics Model*. 34:1247–1257.
- [30] Yang GL, Rousseau R, Yang LY, Liu WB. 2014. A study on directional returns to scale. *Journal Informatics*, 8:628–641.
- [31] Yang GL, Liu WB. 2015. Analysis of returns to scale of the biological institutes based on DEA method. *Science Research Management*. 36:104–111. Chinese.
- [32] Yang GL, Liu WB. 2017. Estimating directional returns to scale in DEA. *Information system Operation Research*. 55:3, 243-273, DOI: 10.1080/03155986.2016.1273024.
- [33] Iran Power Generation and Transmission Company, “Detailed Statistics of Iran’s Power Industry Electricity Transmission” (in Persian), Iran Power Generation and Transmission Company, 201 <https://web.archive.org/web/20210514014836/http://amar.tavanir.org.ir/>