ارزیابی مدیریت زنجیره تأمین سبز شرکت‌های مواد نوشیدنی با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای

امیر امینی[1*] **علیرضا علی‌نژاد[2]**

دانشگاه صنعتی ارومیه دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۰۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۰۳

چکیده

با افزایش قوانین و مقررات زیست‌محیطی و آگاهی‌های مردم در خصوص حفاظت از محیط زیست، اگر شرکت‌ها همچنان خواستار فعالیت در بازارهای جهانی و رقابت با شرکت‌های دیگر باشند دیگر به‌راحتی نمی‌توانند مسائل زیست‌محیطی را نادیده بگیرند. مدیریت زنجیره تأمین سبز، روشی برای بهبود عملکردهای زیست‌محیطی است. شرکت‌ها مجبورند تحت فشار صاحبان سرمایه و قوانین و مقررات زیست محیطی، عملکردهای زیست‌محیطی خود را شامل عملیاتی از قبیل خرید سبز، طراحی سبز و بازیافت محصولات بهبود دهند. در نظر گرفتن معیارها و ملاحظات زیست‌محیطی، مزیت رقابتی را برای شرکت‌ها به‌همراه خواهد داشت و عملکرد زیست‌محیطی و اقتصادی آنها را بهبود می‌بخشد. بنابراین ارزیابی مدیریت زنجیره تأمین سبز برای شرکت‌ها اهمیت راهبردی دارد. یکی از فنونی که می‌توان برای ارزیابی مدیریت زنجیره تأمین سبز به‌کاربرد، تحلیل پوششی داده‌ها است. مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها با واحدهای تصمیم‌گیری به مانند جعبه سیاه رفتار می‌کنند. یکی از اشکالات مدل‌های کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها این است که در آنها توجهی به ارتباطات بخش‌های داخلی واحدها نمی‌شود. هدف این مقاله ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای برای ارزیابی مدیریت زنجیره تأمین سبز با خروجی‌های نامطلوب است. در پایان، کاربرد مدل پیشنهادی با یک زنجیره تأمین سبز چهار مرحله‌ای نشان داده شده است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت زنجیره تأمین سبز، تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، مرز کارایی، ارزیابی، خروجی‌های نامطلوب

۱- مقدمه

برای ورود به فضای رقابتی چالش‌برانگیز موجود، توسعه محصول با رویکردی نوین در مواجهه با تغییرات محیطی امری ضروری است[۱]. از سوی دیگر، امروزه تضمین توسعه پایدار هر کشور منوط به حفظ و استفاده بهینه از منابع محدود و غیرقابل جایگزین در آن کشور شده است و اقدامات گوناگونی برای مواجهه با این مسئله توسط دولت‌ها از جمله اعمالِ قوانین و اصول سبز، کاهش استفاده از منابع انرژی فسیلی و نفتی، استفاده مجدد ضایعات برای شرکت‌ها و سازمان‌های بخش دولتی و خصوصی انجام گرفته است. تسری مقررات دولتی به‌منظور اخذ استانداردهای زیست‌محیطی و تقاضای رو به رشد مصرف‌کنندگان برای عرضه محصولات سبز به زنجیره تأمین، که تمام فعالیت‌های مرتبط با جریان کالا از مرحله ماده خام تا تحویل کالا به مصرف‌کنندگان نهایی را در بر می‌گیرد، موجب ظهور مفهوم جدید "مدیریت زنجیره تأمین سبز[3]"شده‌است، که شامل مراحل چرخه عمر محصول از طراحی تا بازیافت می‌شود. ازاین‌رو ارزیابی زنجیره‌های تأمین سبز در شرکت‌های پیشرو اهمیت بالایی دارد[۲].

برای ارزیابی عملکرد مؤثر مدیریت زنجیره تأمین سبز، لازم است ساختارهای داخلی مؤثر و پیچیده بخش‌ها نیز بررسی شود. روش‌های مختلفی در این زمینه وجود دارد، که یکی از این روش‌ها، روش تحلیل پوششی داده‌ها[4]است. تحلیل پوششی داده‌ها یک ابزار ریاضی غیرپارامتری به‌منظور ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری متجانس است. از این فن به‌منظور ارزیابی کارایی نسبی در صنایع مختلف

۱*- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، ارومیه، ایران، نویسنده مسئول، پست الکترونیک: a.amini@ine.uut.ac.ir، نشانی: ارومیه، کیلومتر دوم جاده بند، دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، ایران، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، پست الکترونیک: alalinezhad@gmail.com

3- Green Supply Chain Management (GSCM)

4- Data Envelopment Analysis (DEA)

مانند بانک‌ها، بیمارستان‌ها، مراکز آموزشی و غیره استفاده می‌شود[۳]. در مطالعات کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها، ورودی‌هابرای تولید خروجی‌ها بدون اینکه توجهی به ارتباطات بخش‌های داخلی واحدها شود، به‌کار می‌روند.

بسیاری از واحدهای تصمیم‌گیری و فرآیندهای تولیدی در حقیقت واحدهای چند مرحله‌ای یا شبکه‌ای هستند، ازاین‌رو ارزیابی آنها به کمک DEA نیازمند روش‌های چند مرحله‌ای یا شبکه‌ای است. تحقیقات اولیه در مورد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای به مطالعات تحقیقاتی فِیر و ویتاکر[۱] در سال ۱۹۹۵ برمی‌گردد[۴].

فِیر و گروسکوف[۲] (۲۰۰۰) اولین بار مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای را ارائه کردند[۵]. مین‌مینگ‌یو و اروین لین[۳] (۲۰۰۸) نیز مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای را برای ارزیابی کارایی شبکه راه‌آهن ارائه کردند[۶]. در تحلیل پوششی داده‌ها وقتی مرز کارایی تعیین می‌شود، واحدهای تصمیم‌گیری[۴] ناکارا می‌توانند عملکرد خود را برای دستیابی به مرز کارا با افزایش سطح خروجی‌ها یا کاهش ورودی‌ها بهبود بخشند.

در راستای تحلیل کارایی اغلب خروجی‌ها را خوب در نظر می‌گیرند، درحالی‌که این فرض همیشه درست نیست زیرا خروجی‌ها ممکن است نامطلوب یا بد باشند. به‌عنوان مثال آلودگی‌ها و ضایعات یک کارخانه، خروجی نامطلوب[۵] هستند که به‌منظور افزایش سطح کارایی و بهبود سطح عملکرد، می‌بایست کاهش یابند[۷]. بنابراین از یک طرف وجود بیش از یک مرحله در زنجیره‌های تأمین سبز و از طرف دیگر حضور برخی خروجی‌های نامطلوب، موجب پیچیدگی‌هایی در ارزیابی کارایی خواهند شد.

هدف این مقاله، ارائه مدلی برای ارزیابی کارایی یک زنجیره تأمین سری p مرحله‌ای با ساختار سبز در حضور خروجی‌های نامطلوب، با استفاده از فن تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای است. کاربرد مدل پیشنهادی، در یک زنجیره تأمین چهار مرحله‌ای با ساختار سبز اجرا می‌شود.

ساختار پژوهش حاضر به شرح زیر است. در ادامه مفاهیم مدیریت زنجیره تأمین سبز و تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای با خروجی‌های نامطلوب و مدل ترکیبی ورودی و خروجی‌محور مطرح می‌شود. بخش سوم با عنوان روش‌شناسی تحقیق به تشریح مدل پیشنهادی می‌پردازد. در بخش چهارم با ارائه یک مثال عددی کاربرد عملی مدل و تحلیل یافته‌های تحقیق انجام خواهد شد. در پایان، نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای پژوهش‌های آتی ارائه می‌شود.

1- Fare and Whittaker
2- Fare and Grosskopf
3- Yu, M.-M., Lin, E.
4- Decision making unit (DMU)
5- Undesirable Outputs

۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۲-۱- مدیریت زنجیره تأمین سبز

از مهم‌ترین موضوعات مدیریتی زنجیره تأمین[۶] مدیریت زنجیره تأمین[۷] است[۸]. زنجیره تأمین شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، حمل‌ونقل، انبارها، خرده‌فروشان و مشتریان است که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم، در راستای برآورده‌سازی درخواست مشتری نقش دارند[۹]. براساس این تعریف، مدیریت زنجیره تأمین، شامل تمام فرآیندها از تأمین‌کننده تا مشتری، با هدف مدیریت عرضه و تقاضا و هماهنگ‌سازی فعالیت‌ها از خریداری مواد خام تا تولید، جمع‌آوری، انبارداری، پیگیری موجودی، مدیریت و ورود سفارش و توزیع است. به‌عبارت دیگر مدیریت زنجیره تأمین، شامل تمام فعالیت‌ها از تولید تا تحویل محصول نهایی (خدمت) به مشتریان است[۸].

رویکردهای نوین زنجیره تأمین و مدیریت آن متأثر از تحولات اساسی شکل‌گرفته در فناوری‌های تولید و اطلاعات و به‌تبع آن انتظارات مشتریان و مصرف‌کنندگان در نیمه دوم قرن بیستم پا به عرصه وجود گذاشت[۱۰].

مدیریت زنجیره تأمین سبز، ترکیبی از تفکر زیست‌محیطی و مدیریت زنجیره تأمین شامل: طراحیِ محصول، انتخاب و منبع‌یابی، فرآیند ساخت و تولید، تحویل محصول نهایی به مشتری و مدیریت محصول پس از مصرف و طی شدن عمرِ مفید آن است[۱۱].

تسنگ[۸] (۲۰۱۰) تئوری مجموعه‌های فازی با درجه امکان خاکستری[۹] را برای ارزیابی شاخص‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز در انتخاب تأمین‌کننده به‌کار برده است[۱۲]. چانگ[۱۰] و همکاران (۲۰۱۱) رویکرد دیمتل فازی[۱۱] را برای شناسایی فاکتورهای مؤثر در انتخاب تأمین‌کنندگان مدیریت زنجیره تأمین ارائه کرده است[۱۳]. لین[۱۲] (۲۰۱۳) با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی و مدل‌سازی ساختاری به کشف روابط

6- Supply Chain (SC)
7- Supply Chain Management (SCM)
8- Tseng
9- Gray Possible Degree
10- Chang
11- Fuzzy DEMATEL
12- Lin

علت و معلول میان شاخص‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز پرداخته است[۸].

۲-۲- تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای

اولین بار در سال ۱۹۷۸، فن تحلیل پوششی داده‌ها توسط چارنز، کوپر و رودز[1] ارائه شده است[۳]، همچنین روشی برای ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری با چندین ورودی و چندین خروجی در نظر گرفته شده است[۱۴].

مدل‌های کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها با واحدهای تصمیم‌گیری به مانند "جعبه سیاه[2]"رفتار می‌کنند، این رویکرد هیچ بینشی در مورد منابع ناکارآمد فراهم نمی‌کند، به خصوص اینکه نمی‌تواند مدیران را به‌منظور بهبود کارایی واحدهای تصمیم‌گیری راهنمایی کند[۱۵]. بسیاری از فرآیندهای تولیدی و زنجیره‌های تأمین، ساختار شبکه‌ای دارند، به‌عبارت دیگر رویکردهای شبکه‌ای از زیرفرآیندها و مراحلی با ورودی‌ها و خروجی‌ها و اندازه‌های میانی بین مراحل تشکیل شده‌اند[۶]. در سال‌های اخیر، مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای به‌وسیله محققان زیادی توسعه یافته است.

لوئیس و سکستون[3] (۲۰۰۴) ساختارهای چندمرحله‌ای تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای[۱۵] و کائو و هوآنگ[4] ساختارهای سری و موازی بخش‌های داخلی واحدهای تصمیم‌گیری را ارائه کردند[۱۶]. در این خصوص می‌توان از محققان دیگر از جمله ، فِیر و همکاران (۲۰۰۷) [۱۷]، تون و تی‌سوتسویی (۲۰۱۰) [۱۸]، کوک و همکاران (۲۰۱۰) [۶]، و یانگ و لیو[5] (۲۰۱۲) [۱۹] را نام برد.

دسپوتیس[6] و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای دو هدفه به ارزیابی عملکرد تحصیلی ۴۰ اعضای هیئت علمی در یک دانشگاه یونانی پرداختند. ایشان با معرفی یک روش تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای به ارزیابی بهره‌وری در مقایسه با روش دومرحله‌ای پرداختند. در این مطالعه ترکیب بهره‌وری کلی سیستم و بازده‌های قبلی آن در نظر گرفته شده است. به‌عبارت دیگر، بازده کلی سیستم با جمع بازده‌های مراحل قبلی به‌دست آمده است. در چنین حالتی از برنامه‌ریزی چند هدفه به‌عنوان چارچوب مدل‌سازی استفاده کردند و در این تحقیق، به این نتیجه رسیدند که "این روش راه را برای ارزیابی کارایی منحصر به فرد و بی‌طرف فراهم می‌کند"[۲۰].

۲-۳- خروجی‌های نامطلوب

در تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی نسبت خروجی‌های بیشتر به ورودی‌های کمتر است. درحضور خروجی‌های نامطلوب، واحدهای تصمیم‌گیری با خروجی‌های خوب (مطلوب) بیشتر و خروجی‌های بد (نامطلوب) کمتر، نسبت به ورودی‌های کمتر، کارا هستند[۲۱].

از پیشگامان تحقیق در زمینه خروجی‌های نامطلوب می‌توان به پیتمن[7] (۱۹۸۳) [۲۲] فار[8] و همکاران (۱۹۸۹) [۲۳]، یایساوانگ و کلین[9] (۱۹۹۴) [۲۴] و چانگ و[10] همکاران (۱۹۹۷) [۲۵] اشاره کرد. جهانشاهلو و[11] همکاران (۲۰۰۵) [۲۶] چهار روش را برای مقابله با خروجی‌های نامطلوب در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها ارائه کردند که به ترتیب عبارتند از:

روش اول؛ از حضور و میزان تأثیر عوامل نامطلوب چشم‌پوشی شود.

روش دوم؛ با خروجی‌های نامطلوب مانند ورودی و با ورودی‌های نامطلوب مانند خروجی رفتار شود.

روش سوم؛ حضور و میزان تأثیرگذاری عوامل نامطلوب توسط مدل‌های DEA غیرخطی مورد تحلیل قرار گیرند و روش چهارم؛ استفاده از یک تبدیل نزولی یکنوا برای کاهش خروجی‌های نامطلوب و افزایش ورودی‌های مطلوب است. کورهونن و لوپتاسیک[12] (۲۰۰۴) [۲۷] از تحلیل پوششی داده‌ها برای اندازه‌گیری کارایی اقتصادی ۲۴ کارخانه سوخت زغال سنگ استفاده کردند، آنها خروجیِ تولید را به‌طور مستقیم به‌عنوان ورودی به‌کاربردند، به‌طوری‌که مایل به افزایش خروجی‌های مطلوب و کاهش ورودی‌ها و آلودگی‌ها می‌باشند. جهانشاهلو و همکاران (۲۰۰۵) رویکرد مقابله هم‌زمان با هر دو ورودی‌ها و خروجی‌های نامطلوب را در مدل DEA غیرشعاعی ارائه کردند[۲۸].

1- Charnes, Cooper and Rhodes
2- Black Box
3- Lewis and Sexton
4- Kao and Hwang
5- Yang and Liu
6- Despotis

7- Pittman
8- Fare
9- Yaisawarng and Klein
10- Chung
11- Jahanshahloo
12- Korhonen and Luptacik

۲-۴- مدل ترکیبی ورودی و خروجی‌محور

متغیرهای نامطلوب می‌توانند هم در خروجی‌ها و هم در ورودی‌ها وجود داشته باشند. بنابراین برای در نظر گرفتن آنها در مدل، باید از مدل ترکیبی که به‌طور هم‌زمان به کاهش ورودی‌ها و افزایش خروجی‌ها می‌پردازد، استفاده شود. این مدل ترکیبی که توسط سیفورد و ژو[1] (۲۰۰۲) ارائه شده به‌صورت زیر است[۲۹].

مدل (۱):

$$\max \theta$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_j \le (1-\theta) x_p$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_j \ge (1+\theta) y_p$$

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

حال اگر در کنار عوامل مطلوب x^D, y^D عوامل نامطلوب x^U, y^U نیز ظاهر شوند، در این هنگام، ناحیه شدنی به صورت $[y \quad x] = [y^D \quad y^U \quad x^D \quad x^U]$ خواهد بود. در این‌صورت مدل ارزیابی کارایی به‌صورت مدل زیر خواهد بود. این مدل درصدد کاهش خروجی‌های نامطلوب و افزایش خروجی‌های مطلوب، همچنین افزایش ورودی‌های نامطلوب و کاهش ورودی‌های مطلوب است[۳۰].

مدل (۲) :

$$\max \theta$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij}^D \le (1-\theta) x_{ip}^D, i^D = 1, \dots, I^D$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij}^U \ge (1+\theta) x_{ip}^U \quad , i^U = 1, \dots, I^U$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj}^D \ge (1+\theta) y_{rp}^D \quad , r^D = 1, \dots, R^D$$

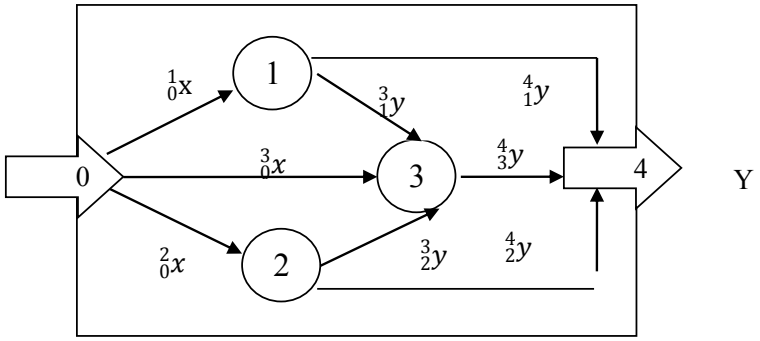
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj}^U \le (1-\theta) y_{rp}^U \quad , r^U = 1, \dots, R^U$$

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

نوآوری مدل این تحقیق، در این است که علاوه‌بر در نظر گرفتن عوامل مطلوب و نامطلوب، چه در ورودی و چه در خروجی‌ها، برای کاهش ورودی و افزایش خروجی‌ها به‌صورت هم‌زمان زیرفعالیت‌ها و ورودی‌های میانی را نیز درنظر می‌گیرد.

۲-۵- تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای چند فعالیته (MNDEA)[2]

در بسیاری از مثال‌های عملی، واحدهای تصمیم‌گیرنده یا فرآیندهای تولید، خود شامل زیرواحدهایی هستند که این زیرواحدها به‌طور شبکه‌ای با یکدیگر در ارتباط می‌باشند. یعنی خروجی یک زیرواحد ممکن است ورودی زیرواحد دیگر باشد که در نهایت این فعل و انفعالات باعث تولید خروجی نهایی سیستم می‌شود. همچنین مدل‌های اساسی تحلیل پوششی داده‌ها عملکرد کامل یک واحد را می‌سنجند. درحقیقت به واحدهای تصمیم‌گیرنده به‌عنوان جعبه سیاه نگاه می‌شود و اجزای واحدهای تصمیم‌گیرنده در ارزیابی لحاظ نمی‌شود. اما مدل‌های شبکه‌ای که توسط فیِر و گروسکوف توسعه داده شده‌اند، این اجازه را می‌دهند که برای ارزیابی عملکرد یک واحد تصمیم‌گیرنده و اجزای تشکیل‌دهنده آن به داخل جعبه سیاه نگاه شود. شکل (۱)، شبکه‌ای با سه زیر فرآیند ۱، ۲ و ۳ است. این شبکه فناوری شبکه‌ای نامیده می‌شود.



شکل (۱): فناوری شبکه ای

1- Seiford & Zhu
2- Multi Network DEA

منبع صفر به شبکه، ورودی‌های خارجی x را می‌دهدکه به سه قسمت $^{1}_{0}x$, $^{2}_{0}x$, $^{3}_{0}x$ تقسیم شده و وارد زیرفرآیندهای ۱,۲,۳ می‌شوند. اندیس پایین مبدأ و اندیس بالا مقصد را نشان می‌دهد. زیرفرآیند اول، $^{1}_{0}x$ را مصرف کرده و خروجی میانی $^{3}_{1}y$ و خروجی نهایی $^{4}_{1}y$ را تولید می‌کند. $^{3}_{1}y$ به عنوان ورودی در زیرفرآیند سوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. زیرفرآیند دوم، $^{2}_{0}x$ را مصرف کرده و خروجی میانی $^{3}_{2}y$ و خروجی نهایی $^{4}_{2}y$ را تولید می‌کند. زیرفرآیند سوم از ورودی خارجی $^{3}_{0}x$ ورودی‌های میانی $^{3}_{1}y$ و $^{3}_{2}y$ استفاده می‌کند و خروجی $^{4}_{3}y$ را تولید می‌کند. تمام خروجی‌های نهایی وارد چاهک چهارم می‌شوند. برای ارائه مدل این شبکه، به ورودی‌ها و خروجی‌های هر زیرفرآیند توجه شده و برای هر زیرفرآیند تعدادی محدودیت در نظر گرفته می‌شود. این مدل به‌صورت زیر است:

مدل (۳):

$$\beta(x) = \{y = (^{4}_{1}y, ^{4}_{2}y, ^{4}_{3}y) :$$

$$(a)\ \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3\ {}^{4}_{3}y_{jr} \geq {}^{4}_{3}y_{or} \qquad , r = 1, \dots, R_3$$

$$(b)\ \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3\ {}^{3}_{0}x_{ij} \leq {}^{3}_{0}x_{oi} \qquad , i = 1, \dots, I$$

$$(c)\ \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3\ {}^{3}_{1}y_{jr} \leq {}^{3}_{1}y_{or} \qquad , r = 1, \dots, R_1$$

$$(d)\ \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3\ {}^{3}_{2}y_{jr} \leq {}^{3}_{2}y_{or} \qquad , r = 1, \dots, R_2$$

$$(e)\ \lambda_j^3 \geq 0 \qquad , j = 1, \dots, n$$

$$(f)\ \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 \left({}^{3}_{1}y_{jr} + {}^{4}_{1}y_{jr}\right) \geq \left({}^{3}_{1}y_{or} + {}^{4}_{1}y_{or}\right) \qquad , r = 1, \dots, R_1$$

$$(g)\ \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1\ {}^{1}_{0}x_{ji} \leq {}^{1}_{0}x_{oi} \qquad , i = 1, \dots, I$$

$$(h)\ \lambda_j^1 \geq 0 \qquad , j = 1, \dots, n$$

$$(i)\ \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^2 \left({}^{3}_{2}y_{jr} + {}^{4}_{2}y_{jr}\right) \geq \left({}^{3}_{2}y_{or} + {}^{4}_{2}y_{or}\right) \qquad , r = 1, \dots, R_2$$

$$(j)\ \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^2\ {}^{2}_{0}x_{ji} \leq {}^{2}_{0}x_{oi} \qquad , i = 1, \dots, I$$

$$(k)\ \lambda_j^2 \geq 0 \qquad , j = 1, \dots, n$$

$$(l)\ {}^{1}_{0}x_i + {}^{2}_{0}x_i + {}^{3}_{0}x_i \leq x_i \qquad , i = 1, \dots, I$$

در این مدل، سه زیرفرآیند مشخص می‌شود. زیرفرآیند سوم $\beta^3(^{3}_{0}x, ^{3}_{1}y, ^{3}_{2}y)$ شامل عبارات (a) تا (e) است. زیرفرآیند اول $\beta^1(^{1}_{0}x)$ توسط عبارات (f) تا (h) مشخص شده و عبارات (i) تا (k) برای زیرفرآیند دوم $\beta^{2}\,^{2}_{0}x$ می‌باشد. همچنین عبارت (l) مربوط به توزیع ورودی‌های خارجی است[۵].

یو و لین (۲۰۰۸)[۳۱] روش فِیر و گروسکوف[۵] را توسعه داده و مدلی برای ارزیابی کارایی شبکه راه‌آهن ارائه دادند. آنها برای هر زیرفرآیند یک مجموعه امکان تولید و یک تابع هدف در نظر گرفتند. سپس مجموع موزون توابع هدف زیرفرآیندها را به‌عنوان تابع هدف کل ارائه کردند. این روش را تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای چندفعالیته می‌نامند. برای هر زیرفرآیند سه مجموعه امکان تولید[1] A_1, A_2, A_3 به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

$$A_1 = \{(x_1, y_1): x_1 = (^{1}_{0}x), y_1 = (^{3}_{1}y, ^{4}_{1}y)\}$$

تولید x_1 و y_1

$$A_2 = \{(x_2, y_2): x_2 = (^{2}_{0}x), y_2 = (^{3}_{2}y, ^{4}_{2}y)\}$$

تولید x_2 و y_2

$$A_3 = \{(x_3, y_3): x_3 = (^{3}_{1}y, ^{3}_{0}x, ^{3}_{2}y)\ , y_3 = (^{4}_{3}y)\}$$

تولید x_3 و y_3

مقادیر کارایی هر یک از این سه فرآیند، با سه تابع زیر تعریف می‌شود:

$$\beta_p^3(x_3, y_3)\ , \beta_p^2(x_2, y_2)\ , \beta_p^1(x_1, y_1)$$

(واحد pام تحت ارزیابی است) به‌طوری‌که:

$$\beta_p^1(x_1, y_1) = \max\{\beta_p^1: \left((1-\beta_p^1)x_1, (1+\beta_p^1)y_1\right) \in A_1, \beta_p^1 \geq 0\}$$

$$\beta_p^2(x_2, y_2) = \max\{\beta_p^2: \left((1-\beta_p^2)x_2, (1+\beta_p^2)y_2\right) \in A_2, \beta_p^2 \geq 0\}$$

$$\beta_p^3(x_3, y_3) = \max\{\beta_p^3: \left((1-\beta_p^3)x_3, (1+\beta_p^3)y_3\right) \in A_3, \beta_p^3 \geq 0\}$$

اعداد نامنفی در w_p^1, w_p^2, w_p^3 تابع هدف مدل چندفعالیته هستند که اهمیت نسبی هر یک از فعالیت‌ها را در $w_p^1 + w_p^2 + w_p^3 = 1$ نشان می‌دهند.

در این مدل، اگر مقدار تابع هدف صفر حاصل شود، آنگاه $\beta_p^3, \beta_p^2, \beta_p^1$ برابر صفر خواهند بود و بنابراین کل واحد تصمیم‌گیری و تمام زیرواحدها کارا هستند. بزرگ‌تر از صفر بودن هر یک از مقادیر β نشان‌دهنده ناکارایی[2] زیرواحد یا زیرفرآیند متناظر آن است. بنابراین این مدل، در صورت ناکارایی واحد، امکان تشخیص ناکارایی در هر زیرواحد را می‌دهد[۳۱].

مدل (۴):

$$\max w_p^1 \beta_p^1 + w_p^2 \beta_p^2 + w_p^3 \beta_p^3$$

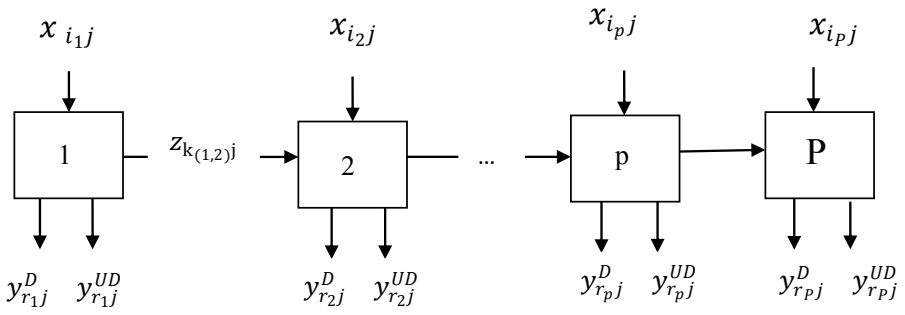
s. t.: محدودیت‌های مدل (۳)- (a) تا (i)

۳- روش‌شناسی پژوهش

۳-۱- مدل پیشنهادی

n واحد تصمیم‌گیری یا (DMU) با شمارنده $j=1, \dots, n$ مطابق شکل (۲) را در نظر بگیرید. هر واحد تصمیم‌گیری شامل P مرحله است.

1- Production Possibility Set (PPS)
2- Inefficiency



شکل (۲): ساختار سری با خروجی‌های نامطلوب

۳-۲- متغییرها و پارامترهای تصمیم

$\boldsymbol{x_{i_pj}}$: مقدار ورودی i ام مربوط به مرحله p ام از DMU_j است.

$\boldsymbol{y_{r_pj}}$: مقدار خروجی r ام از مرحله P ام متعلق به DMU_j بوده و شبکه (فرآیند) را ترک می‌کنند. خروجی‌ها به دو صورت مطلوب و نامطلوب وجود دارد.

UD نشان‌دهنده کلمه Undesirable یا نامطلوب و D نشان‌دهنده کلمه Desirable یا مطلوب است.

$\boldsymbol{z_{k_pj}}$: مقدار اندازه میانی k از مرحله p ام متعلق به DMU_j است. اندازه‌های میانی از شبکه خارج نمی‌شوند و به‌عنوان قسمتی از ورودی وارد مرحله بعد می‌شوند، به‌طور مثال $z_{k_{(1,2)}j}$ اندازه میانی k ام از مرحله اول (خروجی) به مرحله دوم (ورودی) مربوط به از DMU_j است. λ_j^p بردار شدت مربوط به مرحله p ام می‌باشد. $\boldsymbol{\theta_o^1, \dots, \theta_o^p}$ مقادیر تابع هدف مراحل ۱ تا p برای $\mathbf{DMU_o}$ (واحد تصمیم‌گیری تحت ارزیابی) می‌باشد و $\boldsymbol{w_o^1 \dots, w_o^p}$: وزن‌های نسبی مربوط به مراحل است به‌طوری‌که:

$$w_0^1 + w_0^2 + \cdots + w_0^p = 1$$

مدل ۵:

$$Max \sum_{p=1}^{P} w_o^p \, \theta_o^p$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^p x_{i_pj} \le (1 - \theta_o^p) x_{i_po} \qquad , i_p = 1, \dots, I_p \qquad , p = 1, \dots, P$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^p y^D{}_{r_pj} \ge (1 + \theta_o^p) y^D{}_{r_po} \qquad , r_p^D = 1, \dots, R_p^D \qquad , p = 1, \dots, P$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^p y^{UD}{}_{r_pj} \le (1 - \theta_o^p) y^{UD}{}_{r_po} \qquad , r_p^{UD} = 1, \dots, R_p^{UD} \qquad , p = 1, \dots, P$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^p z_{k_pj} \ge (1 + \theta_o^p) z_{k_po} \qquad , k_p = 1, \dots, k_p \qquad , p = 1, \dots, P$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{p+1} z_{k_pj} \le (1 - \theta_o^{p+1}) z_{k_po} \qquad , k_p = 1, \dots, k_p \qquad , p = 1, \dots, P$$

$$\lambda_j^p \ge 0 \qquad , j = 1, \dots, n, \qquad , p = 1, \dots, P$$

۳-۳-تابع هدف و محدودیت‌ها

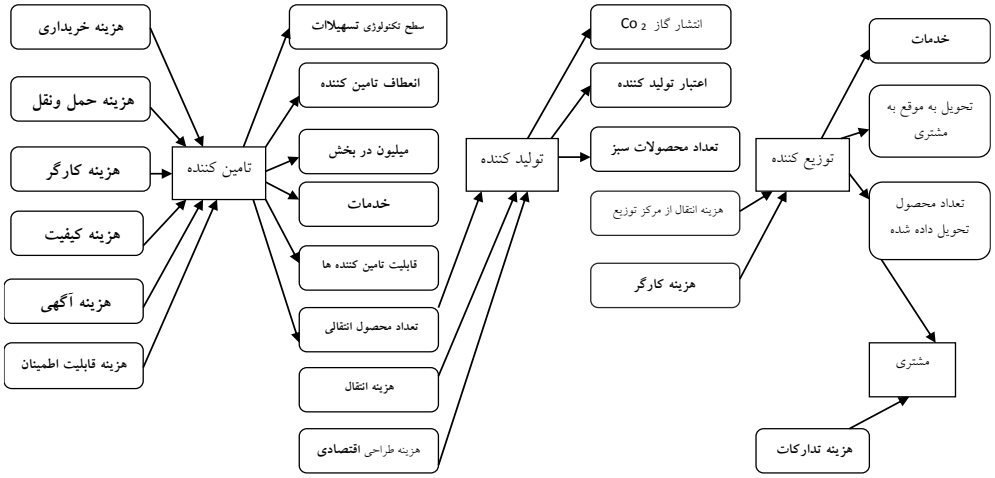
تابع هدف، بیشینه مجموع موزون توابع هدفِ زیرفرآیندها است. اگر مقدار تابع هدف صفر حاصل شود، واحد کارا و اگر بزرگ‌تر از صفر باشد واحد ناکارا است. محدودیت اول، ورودی‌های هر مرحله را نشان می‌دهد. ازآنجاکه در مدل به دنبال آن هستیم که با کمترین ورودی بیشترین خروجی حاصل شود، ورودی‌ها با علامت کوچک‌تر مساوی و خروجی‌ها با علامت بزرگ‌تر مساوی نشان داده می‌شوند. محدودیت دوم و سوم به‌ترتیب نشان‌دهنده خروجی‌های مطلوب و نامطلوب است. در این مدل، با خروجی‌های نامطلوب همانند ورودی و با ورودی‌های نامطلوب، همانند خروجی رفتار می‌شود. محدودیت چهارم، مربوط به اندازه‌های میانی است که از مرحله p ام خارج می‌شوند و محدودیت پنجم، اندازه‌های میانی که به‌عنوان قسمتی از ورودی وارد مرحله p+1 ام می‌شوند. محدودیت ششم، متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، مدل به فرم پوششی است، بنابراین ورودِ عوامل نامطلوب به مدل راحت‌تر و بدون غیرخطی شدن

مدل، امکان‌پذیر است. همچنین می‌توان به راحتی و با افزودن یک محدودیت، این مدل را به فرض بازده به مقیاس متغییر تعمیم داد[۳۲].

۴- تحلیل یافته‌ها

۴-۱- مثال عددی

در این قسمت، ساختار یک زنجیره تأمین سبز در شرایط مدیریت زنجیره تأمین سبز مورد ارزیابی قرار گرفته است. این زنجیره تأمین از چهار مرحله شامل، تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتری تشکیل شده است. ورودی‌های مرحله تأمین‌کننده شامل هزینه خریداری مواد، هزینه حمل‌ونقل، هزینه کارگر،هزینه‌آگهی، هزینه قابلیت اطمینان و خروجی‌های مرحله تأمین‌کننده، سطح فناوری تسهیلات، انعطاف‌پذیری تأمین‌کنندگان، قابلیت‌های تأمین‌کنندگان، خدمات و PPM[1] است. ساختار این زنجیره تأمین در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳): ساختار یک زنجیره تامین سبز
منبع: (Mirhedayatian et al., 2014)[۲۸]

با توجه به اینکه در زنجیره تأمین، برگشت کالا (مواد خام، محصول و ...) به‌دلیل معیوبی (PPM) امکان‌پذیر است، ازاین‌رو این معیار شاخصی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان محسوب شده و در DEA به‌عنوان خروجی نامطلوب در نظر گرفته می‌شود[۳۳]. در بخش تأمین‌کننده، هزینه خریداری، حمل‌ونقل، کارگر، کیفیت، آگهی و هزینه قابلیت اطمینان به‌عنوان ورودی هستند. خروجی حاصل از تأمین‌کننده فناوری تسهیلات، انعطاف تأمین‌کننده، PPM و خدمات بوده و سایر خروجی‌ها طبق عکس فوق ورودی مرحله تولیدکننده خواهند بود. به همین ترتیب خروجی تولیدکننده، اعتبار، محصول سبز و انتشار گاز CO2 (به‌عنوان متغیر نامطلوب و آلوده‌کننده محیط‌زیست)، است. در نهایت خروجی بخش توزیع‌کننده خدمات، محصول، تحویل به‌موقع به مشتری است که تمام مراحل به مشتری ختم می‌شود. در بخش توزیع‌کننده، ورودی، هزینه کارگر و خروجی‌ها، خدمات و تحویل به‌موقع محصول به مشتریان بوده و اندازه‌های میانی، تعداد محصولات تحویل داده شده به مشتری است. متغیرهای مورد استفاده در ارزیابی GSCM در جدول (۱) ذکر شده است. اندازه میانی، تعداد بخش‌ها از تأمین‌کننده به تولیدکننده است. در بخش تولیدکننده، ورودی‌ها شامل هزینه انتقال از تأمین‌کننده به تولیدکننده، هزینه طراحی اقتصادی، انتشار گاز CO_2 (خروجی نامطلوب) و اعتبار تولیدکننده، اندازه‌های میانی، تعداد محصولات سبز و هزینه حمل و نقل تولید کننده به توزیع‌کننده است.

1- Part Per Million (PPM)

جدول (۱): متغیرهای مورد استفاده در ارزیابی GSCM

بخش (مرحله)	تعریف	متغیرها	بخش (مرحله)	تعریف	متغیرها
تأمین‌کننده	هزینه خریداری مواد	$x_{1_{1}j}$	تولیدکننده	هزینه انتقال از تأمین‌کننده به تولیدکننده	$x_{1_{2}j}$
	هزینه حمل ونقل	$x_{2_{1}j}$		هزینه طراحی اقتصادی	$x_{2_{2}j}$
	هزینه کارگر	$x_{3_{1}j}$		انتشار گاز Co_2	$y^{uD}_{1_{2}j}$
	هزینه کیفیت	$x_{4_{1}j}$		اعتبار تولیدکننده	$y^{D}_{2_{2}j}$
	هزیته آگهی	$x_{5_{1}j}$	توزیع کننده	هزینه کارگر	$x_{1_{3}j}$
	هزینه قابلیت اطمینان	$x_{6_{1}j}$		خدمات	$y^{D}_{1_{3}j}$
	سطح فناوری تسهیلات	$y^{D}_{1_{1}j}$		تحویل به موقع به مشتریان	$y^{D}_{2_{3}j}$
	انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده	$y^{D}_{2_{1}j}$	مشتری	هزینه تدارکات	$x_{1_{4}j}$
	قابلیت‌های تأمین‌کنندگان	$y^{D}_{3_{1}j}$		رضایت‌مندی	$y_{1_{4}j}$
	خدمات	$y^{D}_{4_{1}j}$	اندازه میانی	تعداد بخش‌ها از تأمین‌کننده به تولیدکننده	$z^{1}_{1_{(1,2)}j}$
	PPM میلیون در بخش‌ها	$y^{UD}_{1_{1}j}$		تعداد محصولات سبز (در هزار)	$z^{1}_{1_{(2,3)}j}$
				هزینه حمل‌ونقل	$z^{1}_{1_{(2,3)}j}$
				تعداد محصول به‌موقع تحویل داده شده	$z^{1}_{1_{(3,4)}j}$

منبع: (Mirhedayatian et al., 2014) [۲۸]

همان‌طورکه از جدول (۱) مشخص است تمام ورودی‌ها از جنس هزینه بوده و براساس میزان هزینه واحدگذاری می‌شوند. خروجی‌ها و اندازه‌های میانی نیز بی‌واحد گشته‌اند. دلیل آن نیز این است که طبق مقاله مرجع [۲۸] این متغیرها فازی و کیفی بوده و از طریق رابطه (۱) به اعداد قطعی و بی‌واحد تبدیل شده‌اند. دوره بررسی شده در این مثال نیز در یک چرخه تولید محصول از ورود مواد اولیه تا آماده شدن محصول نهایی در هر کارخانه بررسی شده و در چهار مرحله تکرار شده است.

رابطه (۱) - تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی: $\frac{a+4m+b}{6}$

در بخش مشتری نیز ورودی هزینه تدارکات و خروجی رضایت‌مشتری است. وزن‌های هر یک از مراحل تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتری، به ترتیب ۰/۳ و ۰/۴ و ۰/۲و ۰/۱ توسط تصمیم‌گیرنده تعیین شده است. به‌منظور ارزیابی عملکرد زنجیره‌های تأمین سبز، ۱۰ شرکت ایرانی تولیدکننده آب معدنی در شرایط GSCM مورد ارزیابی قرار گرفتند. هر زنجیره تأمین همانند یک DMU در نظر گرفته می‌شود. متغیرهای دو عاملی در مقاله مرجع [۲۸] در نظر گرفته نشده و خروجی‌های فازی با استفاده از رابطه (۱) به اعداد قطعی تبدیل شده‌اند. مجموعه داده‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲): جدول داده‌ها (مرحله تأمین‌کننده)

مرحله اول- تأمین‌کننده- وزن مرحله اول= ۰/۳											
	x_{1_1j}	x_{2_1j}	x_{3_1j}	x_{4_1j}	x_{5_1j}	x_{6_1j}	$y^D_{1_1j}$	$y^D_{2_1j}$	$y^D_{3_1j}$	$y^D_{4_1j}$	$y^{UD}_{1_1j}$
behnoush	۲۹۰	۲۲۰	۸۵	۷۵	۱۰۴	۶۰	۳	۲	۱۲۵۰	۴	۳۹
Abali	۳۰۰	۳۴۵	۹۵	۱۱۰	۱۲۵	۶۵	۲	۲	۱۲۹۵	۲	۳۴
Kafir	۲۸۸	۳۵۰	۱۱۰	۸۵	۱۱۰	۷۲	۳	۳	۱۳۲۰	۳	۴۶
Zamzam	۳۲۰	۳۳۰	۸۰	۶۵	۱۰۵	۷۸	۲	۳	۱۲۵۹	۳	۳۲
Khazar	۲۹۰	۲۷۵	۹۲	۹۳	۱۳۵	۹۰	۴	۲	۱۳۲۰	۲	۵۳
damdaran	۳۴۰	۲۱۰	۱۰۳	۱۱۵	۱۴۲	۸۸	۳	۴	۱۳۴۹	۲	۶۲
Sara	۳۲۵	۳۷۰	۱۰۰	۱۲۵	۱۵۹	۹۲	۴	۲	۱۳۲۹	۴	۳۹
Ramak	۳۳۰	۲۵۰	۸۷	۱۵۰	۱۳۰	۹۵	۲	۴	۱۲۷۶	۲	۴۵
Pegah	۳۴۹	۳۲۰	۷۵	۱۴۵	۱۱۵	۱۰۵	۴	۴	۱۲۹۳	۳	۷۲
varna	۲۹۵	۳۳۵	۹۲	۸۰	۱۰۰	۷۰	۳	۳	۱۳۰۲	۴	۴۲

جدول (۳): داده‌ها (مرحله تولیدکننده)

مرحله دوم، تولیدکننده- وزن مرحله دوم=۰/۴				
	x_{1_2j}	x_{2_2j}	$y^D_{1_2j}$	$y^D_{2_2j}$
Behnoush	۱۳۹	۳۹۴	۱۵۵	۳
Abali	۱۲۵	۴۵۲	۱۶۷	۲
Kafir	۱۵۵	۳۲۹	۱۵۳	۳
Zamzam	۱۳۲	۴۴۲	۱۸۰	۳
Khazar	۱۴۹	۵۲۶	۱۶۷	۲
Damdaran	۱۷۶	۳۴۹	۱۵۶	۳
Sara	۱۲۵	۵۲۷	۱۷۸	۳
Ramak	۱۹۲	۳۹۷	۱۸۲	۲
Pegah	۱۵۶	۳۰۹	۱۶۷	۲
Varna	۱۴۵	۴۰۳	۱۷۴	۲

جدول (۴): داده‌ها (مرحله توزیع‌کننده)

مرحله سوم، توزیع‌کننده- وزن مرحله سوم= ۰/۲			
	x_{1_3j}	$y^D_{1_3j}$	$y^D_{2_3j}$
Behnoush	۲۹	۱۷۰	۲۲۰
Abali	۳۲	۱۸۹	۱۳۸
Kafir	۲۸	۱۷۲	۱۲۸
Zamzam	۳۵	۱۹۳	۱۴۹
Khazar	۳۲	۲۱۹	۱۴۰
damdaran	۳۵	۱۸۹	۱۸۰
Sara	۲۹	۱۹۰	۱۷۷
Ramak	۲۶	۱۵۳	۲۰۹
pegah	۳۷	۱۸۹	۲۱۰
varna	۳۰	۲۱۰	۲۲۵

جدول (۵): جدول داده‌ها (مرحله مشتری)

	مرحله چهارم، مشتری- وزن=۰/۱	
	$x_{1_4 j}$	$y^D_{1_4 j}$
Behnoush	۱۰۲	۴
Abali	۱۱۲	۲
Kafir	۱۳۰	۳
Zamzam	۱۰۰	۴
Khazar	۱۳۹	۴
damdaran	۱۴۹	۳
Sara	۱۴۷	۴
Ramak	۱۲۵	۲
pegah	۱۳۰	۳
varna	۱۰۴	۲

جدول (۶): جدول داده‌ها (اندازه‌های میانی)

جدول (۶): جدول داده‌ها (اندازه‌ها

	اندازه‌های میانی			
	$z_{1_{(1,2)}j}$	$z_{1_{(2,3)}j}$	$z_{2_{(2,3)}j}$	$z_{1_{(3,4)}j}$
Behnoush	۲۳۶	۴۹۰	۱۲۷	۹۵۹۰
Abali	۲۷۹	۵۲۳	۱۴۷	۹۷۲۱
Kafir	۲۴۷	۵۳۹	۲۴۷	۱۰۳۷۲
Zamzam	۲۸۹	۵۹۷	۱۴۷	۱۰۳۳۳
Khazar	۲۷۵	۴۷۹	۱۸۴	۹۷۴۲
damdaran	۲۹۸	۶۲۳	۱۹۴	۱۱۰۳۶
Sara	۳۲۰	۵۸۹	۲۰۴	۱۱۵۵۳
Ramak	۳۲۷	۵۳۲	۲۱۵	۱۰۸۴۶
pegah	۲۹۷	۵۰۸	۱۶۷	۱۰۴۲۳
varna	۲۱۷	۶۳۹	۱۵۶	۱۰۴۶۷

۴-۲- نتایج حاصل از اجرای مدل پیشنهادی

همان‌طورکه ذکر شد، در این مدل اگر مقدار تابع هدف صفر حاصل شود، واحد کارا و اگر بزرگ‌تر از صفر باشد، واحد ناکاراست. همچنین به کمک این مدل می‌توان فهمید که این ناکارایی مربوط به کدام مرحله یا زیرفرآیند است. جدول (۷) نتایج را نشان می‌دهد.

جدول (۷): نتایج

DMU	مقدار تابع هدف	تأمین‌کننده	تولیدکننده	توزیع‌کننده	مشتری
behnoush	۰/۰۰۰۹۹	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰۰	۰/۰۰۹۹
Abali	۰/۰۴۷	۰/۰۱۴	۰۰۰	۰/۰۲۲	۰/۳۸۲
Kafir	۰/۰۳۹	۰/۰۰۱	۰۰۰	۰/۰۶۵	۰/۲۶
Zamzam	۰/۰۰۲۴	۰۰۰	۰۰۰	۰/۰۱۲	۰۰۰۰
Khazar	۰/۰۱۸۵	۰۰۰	۰۰۰	۰/۰۱۱	۰/۱۶
damdaran	۰/۰۷۲۴	۰۰۰	۰/۰۳۳	۰/۰۱۲۹	۰/۳۳
Sara	۰/۰۲۵	۰۰۰	۰۰۰	۰/۰۳۳	۰/۱۹۰
Ramak	۰/۰۶۷	۰۰۰	۰/۰۶۲	۰۰۰۰	۰/۴۲۸
pegah	۰/۰۴۴	۰۰۰	۰۰۰	۰/۰۸۶	۰/۲۶۸
varna	۰/۰۳۵	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	۰/۳۵۰

نتایج حاصله از حل مدل، با نرم‌افزار لینگو[1] نشان می‌دهد که مقدار تابع هدف زنجیره‌های تأمین یا DMU مثبت (غیر صفر) است. بنابراین هیچ یک از زنجیره‌های تأمین، شرکت‌ها کارا نبوده‌اند. از میان این شرکت‌ها، شرکت بهنوش، به‌علت آنکه میزان ناکارایی کمتری دارد، بهتر از بقیه عمل کرده و در رتبه اول قرار دارد. شرکت‌های زمزم و خزر به‌ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار دارند. از طرفی، ناکارایی شرکت بهنوش مربوط به بخش مشتری (مرحله ۴) بوده چون مقدار θ_4 غیرصفر(مثبت) است ولی در بخش‌های تأمین‌کننده، تولیدکننده و توزیع‌کننده، کارا عمل کرده است، چون مقادیر $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ صفر به‌دست آمده است. همان‌طورکه از جدول

1- Lingo

نتایج مشخص است اعداد مثبت نشانه ناکارایی عامل مربوطه در یکی از شرکت‌های مورد بررسی می‌باشد. طبق این جدول ستون مربوط به مشتری بیشترین اعداد مثبت را دارد که نشان می‌دهد در سبز نگه‌داشتن زنجیره تأمین ناکاراست، یعنی تأثیر خیلی کمتری به نسبت سایر عوامل برای این سبز بودن، دارد که این نکته در میزان وزن (اهمیت) آن نیز مشخص است. همچنین بیشترین مقدار صفر برای تأمین‌کننده و تولیدکننده است که مهم‌ترین نقش را در مدیریت زنجیره تأمین سبز و محصول ایفا کرده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

امروزه، مدیریت زنجیره تأمین سبز، یکپارچه‌کننده مدیریت زنجیره تأمین با الزامات زیست‌محیطی، به دلیل آثار مهم اقتصادی و محیطی که به‌دنبال دارد، از موضوعاتی است که بسیارمورد توجه قرار گرفته است. با افزایش قوانین و مقررات زیست‌محیطی و افزایش آگاهی‌های مردم در خصوص حفاظت از محیط‌زیست، شرکت‌ها اگر خواستار فعالیت در بازارهای جهانی و رقابت با شرکت‌های دیگر باشند دیگر به‌راحتی نمی‌توانند مسائل زیست‌محیطی را نادیده بگیرند، در نظر گرفتن معیارها و ملاحظات زیست‌محیطی مزیت رقابتی را برای آنها در برخواهد داشت. مدیریت زنجیره تأمین سبز به شکل‌های شبکه‌ای و با ارتباطات و مراحل چندگانه است، بنابراین برای ارزیابی عملکرد مؤثر مدیریت زنجیره تأمین سبز، لازم است ساختارهای داخلی مؤثر و پیچیده بخش‌ها، نیز بررسی شود.

در این مقاله مدلی برای ارزیابی کارایی واحدهای چند مرحله‌ای با حضور خروجی‌های نامطلوب ارائه شد. این مدل برای ارزیابی یک ساختار زنجیره تأمین سبز چهار مرحله‌ای مورد استفاده قرار گرفت. مدل مورد نظر برگرفته از روش تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای چندفعالیته است. ساختار این مدل به‌گونه‌ای است که به‌راحتی می‌توان عناصر نامطلوب را در آن وارد کرد. در این مدل صفر شدن تابع هدف به‌معنی کارا بودن واحد و بزرگ‌تر از صفر شدن آن به‌معنی ناکارا بودن واحد است. بنابراین می‌توان اذعان کرد که تابع هدف در این مدل، مقدار ناکارایی را ارائه می‌دهد، هر چه مقدار تابع هدف کل بزرگ‌تر باشد، کل واحد مربوطه ناکاراتر است و همچنین هر چه مقدار تابع هدف مربوط به یک زیرواحد ناکارا، بزرگ‌تر باشد، آن زیرواحد ناکاراتر است. بنابراین واحدهایی که تابع هدف آنها بزرگ‌تر از صفر باشند، ناکارا بوده و حداقل یکی از زیرواحدهای آنها، ناکارا بوده است. بنابراین در صورت ناکارا بودن یک زنجیره به کمک این مدل می‌توان تشخیص داد که این ناکارایی مربوط به کدام زیرواحد زنجیره است. این مزیت همچنین این مدیریت را راهنمایی می‌کند که با ایجاد تغییر در ورودی‌ها از خروجی‌های زیرواحد ناکارا، کارایی زیرواحد مربوطه و در نتیجه کارایی کل زنجیره را بهبود بخشد.

۵-۱- پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی

در دنیای واقعی، مقادیر برخی از پارامترها را نمی‌توان با قطعیت بیان کرد. ازاین‌رو می‌توان از داده‌های فازی یا تصادفی در مدل‌های ارزیابی کارایی زنجیره‌های تأمین یا زنجیره‌های تأمین سبز استفاده کرد. همچنین تحقیق مشابهی می‌تواند در حضور متغیرهای غیرقابل کنترل ارائه شود. در این مقاله به ارزیابی کارایی یک زنجیره تأمین سبز با ساختار سری پرداخته شده است. پیشنهاد می‌شود از انواع دیگر ساختارهای موازی، یا زنجیره‌های تأمین بازگشتی به‌منظور ارزیابی کارایی زنجیره‌های تأمین سبز استفاده شود.

۶- منابع

[۱] حبیب اله گرمابکی، رضا. خلیلی دامغانی، کاوه. قلندری، منا. امیریان، جواد. امیری زاده بهبهانی، مائده. "***ارزیابی کارایی محصولات شرکت گلبرگ بهاران با رویکرد توسعه محصول با استفاده از تحلیل پوششی داده ها***"، مدیریت زنجیره تأمین، ۱۹ (۵۸)، ۲۸-۲۱، ۱۳۹۶.

[۲] ایمانی، دین‌محمد. احمدی، افسانه. "***مدیریت زنجیره تأمین سبز راهبرد نوین کسب مزیت رقابتی***"، ماهنامه مهندسی خودرو و صنایع وابسته، ۱ (۱۰)،۱۹-۱۴، ۱۳۸۸.

[3] Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E., ***"Measuring the efficiency of decision making units"***, European Journal of Operational Research.2, (6), 429 –444, 1978.

[4] Fare, R., Whittaker, G., ***"An intermediate input model of dairy production using. Complex survey data"***, Journal of Agricultural Economics 46(2), 201-13, 1995.

[5] Fare, R., Grosskopf, S. Network DEA., ***"Socio Economic Planning Sciences"***, 4(1), 35-49, 2000.

[6] Cook, W.D., Zhu, J., Bi, G., Yang, F., ***"Network DEA: additive efficiency decomposition"***, European Journal of Operational Research. 207 (2), 1122–1129, 2010.

[7] Farzipoor Saen, R., ***"Developing a new data envelopment analysis methodology for supplier selection in the presence of both undesirable output s and imprecise data"***, International of advanced manufacturing technology. 51(9), 1243-1250, 2010.

[8] Lin, R.J., ***"Using fuzzy DEMATEL to evaluate the green supply chain management practices"***, Journal of Cleaner Production. 40, 32–39, 2013.
[9] Chopra, S., Meindl, P., ***"Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operations"***, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001.
[۱۰] صفایی، ناصر ، عامری نسب، علیرضا. ***"شناسایی و رتبه‌بندی آسیب‌های شبکه مدیریت زنجیره تأمین با رویکرد تحلیل فرآیند شبکه‌ای در یکی از شرکت‌های تولیدی، مدیریت زنجیره تأمین"***، ۲۰ (۶۱)، ۱۶-۴، ۱۳۹۸.
[11] Srivastava, S.K., ***"Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review"***, International Journal of Management Review9 (1), 53–80, 2007.
[12] Tseng, M.L., ***"Using a hybrid MCDM model to evaluate firm environmental knowledge management in uncertainty"***, Applied Soft Computing 11 (1), 1340-1352, 2010.
[13] Chang, B., Chang, C.W., Wu, C.H., ***"Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria"***, Expert System with Application 38 (3), 1850-1858, 2011.
[۱۴] مهرگان، محمدرضا. ***"ارزیابی عملکرد سازمان‌ها: رویکرد کمی، با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها"***، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۸۳.
[15] Lewis, H.F., Sexton, T. R., ***"Network DEA: Efficiency analysis of organizations with complex internal structure"***, Computers Operations Research 31,1365-1410, 2004.
[16] Kao, C., Hwang, S. N., ***"Efficiency measurement for network systems: IT impact on firm performance"***, Decision Support Systems 48 (3), 437-446, 2010.
[17] Fare, R., Grosskopf, S., Whittaker, G., ***"Network DEA. In: Zhu, J., Cook, W.D. (Eds.) Modeling Data Structures Irregularities and Structural Complexities in Data Envelopment Analysis"***, Springer, New York, Chap. 12, 2007.
[18] Tone, K., Tsutsui, M., ***" Network DEA: a slack-based measure approach"***, European Journal of Operational Research 197 (1), 243-252, 2009.
[19] Yang, C., Liu, H.M., ***"Managerial efficiency in Taiwan bank branches: a network DEA"***, Economics Modeling 29 (2), 450-461, 2012.
[20] Despotis, D.K., Koronakos, G., Sotiros D., ***"A multi-objective programming approach to network DEA with an Application to the Assessment of the Academic Research Activity"***, Procedia Computer Science 55, 370–379, 2015.
[21] Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K., ***"Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software"***, Springer Science + Business Media, New York, 2007.
[22] Pittman, R., ***"Multilateral productivity comparisons with undesirable outputs"***, The Economic Journal 93 (372), 883-891, 1983.
[23] Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C. K., & Pasurka, C., ***"Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: a nonparametric approach"***, The review of economics and statistics, 90-98, 1989.
[24] Yaisawarng, S., Klein, J., ***"The effects of sulfur dioxide controls on productivity change in the US electric power industry"***, The Review of Economics and Statistics 76 (3), 447-460, 1994.
[25] Chung, Y. H., Färe, R., & Grosskopf, S., ***"Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach"***, journal of Environmental Management, 51(3), 229-240, 1997.
[26] Jahanshahloo, G.R., Lotfi, F.H., Shoja, N., Tohidi, G., Razavyan, S., ***"Undesirable inputs and outputs in DEA models"***, Applied Mathematics and Computation 169(2), 917-925, 2005.
[27] Korhonen, P.J., Luptacik, M., ***"Eco-efficiency analysis of power plants: an extension of data envelopment analysis"***, European Journal of Operational Research. 154 (2), 437-446, 2004.
[28] Mirhedayatian, S.M., Azadi, M., ***"Farzipour Saen, R. A novel network data envelopment analysis model for evaluation green supply chain management"***, Int. J. Production Economics, 544-554, 2014.
[29] Seiford, L.M., Zhu, J., ***"Modeling undesirable factors in efficiency evaluation"***, European Journal of Operations Research 142 (1), 16-20, 2002.
[30] Liu, W., Sharp, J., Wu, Z., ***"Preference production and performance in data envelopment analysis"***, Annals of Operational Research, 105-127, 2006.
[31] Yu, M.-M., Lin, E., ***"Efficiency and effectiveness in railway performance using a multi-activity network DEA model"***, Omega: The International Journal of Management Science. 42, 1283-1294, 2008.
[32] Tajbakhsh A., Hassini E., ***"A data envelopment analysis approach to evaluate sustainability in supply chain networks"***, Journal of Cleaner Production 22, 1-4, 2014.
[33] Nishant, R., Agi M. A., ***"Understanding influential factors on implementing green supply chain management practices: An interpretive structural modelling analysis"***, Journal of Environmental Management (188), 351-363, 2017.