



تعیین کارایی زنجیره تامین سبز در شرکت‌های منتخب لوازم خانگی ایران

سمیه سازگاری^۱، سید محمدرضا داودی^۲ و علیرضا گلی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۱۳ و تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۲۱

چکیده

این پژوهش با هدف تعیین کارایی زنجیره تامین سبز در شرکت‌های منتخب لوازم خانگی ایران است. روش تحقیق توسعه‌ای - کاربردی است که در زمره مدل‌سازی ریاضی می‌باشد. جامعه آماری پژوهش حاضر شامل تعدادی از مدیران عالی و کارشناسان مسئول فعال در حوزه صنعت لوازم خانگی منتخب و تعدادی از اساتید دانشگاهی در حوزه زنجیره تامین سبز بودند که ۲۰ نفر به عنوان نمونه انتخاب شدند. در این پژوهش از رویکردهای دلفی فازی و روش تحلیل پوششی داده‌های فازی استفاده شده است. اطلاعات از ۹ شرکت لوازم خانگی (منتخب) جمع آوری شده بود، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در این مقاله ابتدا با مرور ادبیات و مصاحبه با خبرگان علم-صنعت، معیارهای تاثیرگذار بر مدیریت زنجیره تامین سبز شناسایی و با استفاده از روش دلفی فازی یک غربالگری طی دو مرحله انجام شد که در نهایت ۷ معیار مورد تایید قرار گرفت. سپس با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های فازی به رتبه بندی واحدهای تحت ارزیابی پرداخته شد. نتایج نشان داد که شرکت آ، دارای بهترین کارایی و سبزترین زنجیره تامین است و شرکت ح دارای بدترین مقدار کارایی می‌باشد، که لزوم توجه بیشتر به شرکت‌های دارای کارایی پایین احساس می‌گردد. به منظور نشان دادن قابلیت مدل پیشنهادی، مدل توسعه داده شده با مدل پایه هم ارز خود مقایسه شد و دقت مدل توسعه داده شده نتیجه گرفته شد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت زنجیره تامین سبز، ارزیابی عملکرد، کارایی، تحلیل پوششی داده‌های فازی، دلفی فازی.

۱. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی (مالی)، گروه مدیریت، واحد دهقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهقان، ایران.

Somayeh.sazegari@gmail.com

۲. دانشیار، گروه مدیریت، واحد دهقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهقان، ایران. (نویسنده مسئول) smrdavoodi@ut.ac.ir

۳. استادیار، گروه مهندسی صنایع و آینده پژوهی، دانشکده فنی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. goli.a@eng.ui.ac.ir

مقدمه

شیوه‌های تجاری ناپایدار، جهان را در برابر خطرات شدید پایداری آسیب‌پذیر کرده است (جان و همکاران، ۲۰۱۹). گرمایش جهانی، تغییرات آب و هوایی، تخریب و سوء استفاده از منابع، موارد فزاینده نقض حقوق بشر، کمبود مواد غذایی، تولید زباله‌های خطرناک و انباشت مواد شیمیایی از جمله خطرات کلیدی پایداری هستند (محمد و همکاران، ۲۰۱۶). از آغاز دهه، خطرات پایداری به طور قابل توجهی افزایش یافته است. با درک افزایش خطرات پایداری جهانی، سازمان ملل متحد اهداف توسعه پایدار خود را در سال ۲۰۱۵ اعلام کرد (خان و همکاران، ۲۰۲۳). اهداف توسعه پایدار که پایداری اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی را در بر می‌گیرد، تغییر شیوه‌های تجاری، از جمله شیوه‌های مدیریت زنجیره تامین، برای ایجاد صنایع پایدار و در نتیجه کاهش خطرات پایداری جهانی است (تسنگ و همکاران، ۲۰۱۹). این فشار به سوی تحول صنعتی پایدار جهانی، کسب‌وکارها را تشویق کرده است تا چارچوب مدیریت زنجیره تامین سنتی خود را به مدیریت زنجیره تامین سبز ارتقا دهند (گرین و همکاران، ۲۰۱۹). چارچوب حرکت به سمت مدیریت زنجیره تامین سبز همچنین نتیجه افزایش فشار مشتری بر شرکت‌ها برای اتخاذ شیوه‌های پایداری زیست‌محیطی (سبز) است که با استراتژی‌های سبز و سازگار با محیط زیست مطابقت دارد و در نتیجه اثرات نامطلوب زیست‌محیطی محصولات و خدمات آن‌ها را کاهش می‌دهد (احمد و همکاران، ۲۰۱۹).

مفهوم و شیوه‌های مدیریت زنجیره تامین سبز به طور گسترده در دو دهه اخیر به دلیل افزایش نیاز به کاهش آلودگی و حفظ منابع مورد بحث قرار گرفته است. رویکرد مدیریت زنجیره تامین سبز نیازمند تلاش‌های هماهنگ شرکای بالادستی و پایین دستی برای برآوردن انتظارات رو به رشد آگاهانه محیط زیست در زنجیره تامین است (فنگ و همکاران، ۲۰۲۲). در طول دهه گذشته، بسیاری از شرکت‌ها در سراسر جهان مدیریت زنجیره تامین سبز را به عنوان راهی برای ارتقای مزیت رقابتی خود در بازار جهانی پیاده‌سازی کرده‌اند (دابی و همکاران، ۲۰۱۷). مدیریت زنجیره تامین سبز یک فلسفه سازمانی است که ابعاد محیطی را با شبکه زنجیره تامین سنتی که شامل تهیه، تدارکات، تولید، توزیع و دفع یا استفاده مجدد/بازیافت می‌شود، ادغام می‌کند. بنابراین، علاقه به طراحی زنجیره‌های تامین آگاهانه محیط زیست در حال افزایش است (بسکابادی و همکاران، ۲۰۲۲).

مدیریت زنجیره تامین سبز برای شرکت‌ها اهمیت زیادی دارد. با توجه به افزایش آگاهی‌ها از مسائل محیطی و اجتماعی، شرکت‌ها نیاز دارند تا مسائل محیطی و پایداری را در زنجیره تامین خود لحاظ کنند. این موضوع می‌تواند به بهبود عملکرد شرکت و رضایت مشتریان منجر می‌شود (سیلوا و همکاران، ۲۰۲۱). زنجیره تامین سبز می‌تواند آلودگی محیط زیست و هزینه‌های تولید را کاهش دهد و همچنین می‌تواند باعث رشد اقتصادی، ایجاد مزیت رقابتی از نظر رضایت بیشتر مشتری، تصویر مثبت و شهرت بنگاه اقتصادی شود و فرصت بهتری را برای صادرات محصولاتمان به کشورهای طرفدار محیط زیست فراهم کند. ایده سبز شامل نوآوری‌ها و تکنیک‌های جدیدی برای محافظت از پایداری محیط زیست می‌شود که می‌توان با مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها، تولید سبز، کاهش ضایعات، بازیافت و بازسازی مجدد زنجیره تامین دوستانه/ سازگار با محیط زیست آن را در زنجیره تامین گسترش داد (هایون و همکاران، ۲۰۲۱). امروزه در جهان، با افزایش آگاهی‌های زیست محیطی، بنگاه‌ها با فشارهای شدید

از طرف ذی‌نفعان مختلف از جمله دولت و مشتریان برای کاهش اثرات مضر آنها بر محیط زیست روبرو می‌شوند. از چند دهه گذشته، تأثیرات فزاینده‌ای از گرم شدن کره زمین، تغییرات آب و هوایی، زباله‌ها و آلودگی هوا باعث افزایش توجه جهانی کارشناسان به موضوع زنجیره تامین سبز شده است و آن‌ها رابه سمت راه حل بهینه سبز شدن سوق داده است. مدیریت زنجیره تامین سبز در ایجاد انگیزه برای پایداری سازمان نقش مهمی دارد. با افزایش نگرانی‌های زیست محیطی به طور مداوم، مدیریت زنجیره تامین سبز یکی از نگرانی‌های همیشگی جامعه به خصوص در کشورهای توسعه یافته تبدیل شده است. اهمیت و مزایای زنجیره تامین سبز چیزی فراتر از ممانعت استفاده از مواد شیمیایی سمی و یا کاهش دادن انتشار آلاینده‌ها به محیط زیست است. اصول مدیریت زنجیره تامین سبز می‌تواند برای تمام بخش‌های یک سازمان مورد استفاده قرار بگیرد و در تمام زمینه‌های ملموس و غیرملموس اثرگذار باشد (بادی و مرتق، ۲۰۱۹).

برای ارزیابی عملکرد زنجیره تامین سبز، استفاده از روش‌های تحلیل پوششی داده‌های فازی به عنوان روش جدید و قابل اطمینان در حوزه مدیریت زنجیره تامین مورد توجه قرار بگیرد. این روش‌ها، امکان تحلیل و بررسی عملکرد زنجیره تامین در شرایط مختلف را فراهم می‌کنند و به مدیران کمک می‌کنند تا تصمیمات بهتری درباره بهبود عملکرد زنجیره تامین سبز بگیرند (اسدی و همکاران، ۲۰۲۳). هر سازمان را می‌توان به مثابه سیستمی در نظر گرفت که با دریافت منابع مورد نیاز خود، محصولات یا خدماتی را تولید می‌کند. با توجه به محدودیت منابع و نیاز روز افزون به محصولات و خدمات هر سازمان در مقایسه با همتهایش وقتی بهتر عمل می‌کند که با صرف منابع کمتر محصولات یا خدماتی برابر و یا بیشتر از دیگری تولید نماید و یا با صرف منابع برابر یا کمتر، محصولات یا خدمات بیشتری ارائه دهد. کارایی نسبی در واقع مفهومی است که امکان مقایسه عملکرد هر سازمان را در مقایسه با همتهایش در مصرف منابع و تولید محصولات یا خدمات فراهم می‌کند (طاهری نژاد و علی نژاد، ۲۰۲۳). تحلیل پوششی داده‌ها که توسط چارنز و همکاران در سال ۱۹۷۸ بر مبنای کار فارل معرفی گردید. روشی کارآمد برای محاسبه نسبی است. یک روایت ساده از تحلیل پوششی داده‌ها این است که این روش در واقع نوعی ارزیابی خوش بینانه است که هر بار با انتخاب یک واحد که اصطلاحاً تحت ارزیابی نامیده می‌شود و تخصیص بهترین وزن‌ها نسبت خروجی وزن داده شده به ورودی وزن داده شده را برای آن واحد حداکثر می‌کند، در حالی که این نسبت برای همه واحدهای مورد مقایسه طوری محدود شده که نمی‌تواند از یک تجاوز کند (جهانشاهلو و همکاران، ۱۳۹۱). تحلیل پوششی داده‌ها روشی کارآمد برای مقایسه و محاسبه کارایی نسبی تعدادی واحد که با صرف ورودی‌های مشابه خروجی مشابه تولید می‌کند. اما در دنیای واقعی مواردی وجود دارند که واحدهای تصمیم گیرنده خود متشکل از زیرواحدهایی هستند که به طور مستقل، ورودی‌ها را صرف تولید خروجی‌ها می‌کنند (کوک و گرین، ۲۰۰۵؛ کوپر و همکاران، ۲۰۰۵؛ کائو، ۲۰۰۹). بنابراین این مقاله به دنبال پاسخگویی به این سوال است که چگونه کارایی زنجیره تامین سبز در شرکت‌های منتخب لوازم خانگی ایران تعیین می‌شود؟

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مفهوم مدیریت زنجیره تامین سبز

ایده زنجیره تامین سبز توسط موسسه تحقیقات تولید دانشگاه ایالتی میشیگان توسعه یافت. این امر براساس تحقیقات نظریه تولید سبز و فن آوری مدیریت زنجیره تامین به منظور دستیابی به هدف حفاظت از محیط زیست و بهبود میزان بهره برداری از منابع توسعه یافت (تسنگ و همکاران، ۲۰۱۹). مدیریت زنجیره تامین سبز به عنوان فراهم کننده امکانات یک زنجیره تامین سازگار با محیط زیست بعد از دهه ۱۹۹۰ به عنوان یک رشته تخصصی مطرح شد (سرینگ و مولر، ۲۰۰۸). مدیریت زنجیره تامین سبز چندین سال است که وجود داشته و توجه زیادی از دانشگاهیان و افراد متخصص در این زمینه را به دلیل وخامت محیطی و افزایش آگاهی از حفاظت از محیط زیست جلب کرده است. تحقیقات زنجیره تامین سبز عمدتاً بر روی تصمیمات عملیاتی زنجیره تامین و قراردادهای هم کاری تمرکز دارد (کانگ و همکاران، ۲۰۲۱). لی و همکاران (۲۰۱۶) تولید محصولات سبز را توسط تامین کنندگان در نظر گرفت و استراتژی قیمت گذاری و استراتژی سبز را مورد مطالعه قرار دادند. در مورد موضوع مدیریت زنجیره ی تامین سبز در سال های اخیر بحث های زیادی شده است (ژائو و همکاران، ۲۰۱۳) و طبق نظر سارکیس (۲۰۱۲) به صورت زیادی توسط صنعت شناسایی و متحد شده است. بطور کلی، تمرکز این بحث ها برای مشخص کردن انگیزه ها، فشارها و موانع برای پذیرش تمرین های مدیریت زنجیره تامین سبز می باشد. یکی از موضوع های مهم در مورد شناخت مدیریت زنجیره تامین سبز این است که چگونه شرکت ها این فرایندها را راه اندازی کنند. به این دلیل که بطور کلی، مطالعات تجربی نشان داده اند که سازماندهی پذیرش در تمرینات داخلی مدیریت زنجیره تامین سبز نسبت به تمرینات خارجی سختی و شدت بیشتری دارد (جابور و همکاران، ۲۰۱۴). مدیریت زنجیره تامین سبز از منظر چرخه عمر محصول شامل تمامی مراحل از مواد اولیه، طراحی و ساخت محصول، فروش محصول و حمل و نقل، استفاده از محصول و بازیافت محصولات می باشد. با استفاده از مدیریت زنجیره تامین و فناوری سبز، شرکت میتواند تأثیرات منفی زیست محیطی را کاهش می دهد و به استفاده مطلوب از منابع و انرژی دست یابد (گائو و همکاران، ۲۰۲۱). برخی از محققان مدیریت زنجیره تامین سبز را بر تفکر زیست محیطی در مدیریت زنجیره تامین از جمله طراحی محصول، تهیه و انتخاب مواد، فرآیندهای تولید، تحویل محصول نهایی به مصرف کنندگان و همچنین، مدیریت حیات محصول پس از پایان عمر مفید آن تعریف می کنند (هو و همکاران، ۲۰۱۹). مدیریت زنجیره تامین سبز دربرگیرنده روش هایی است که به طور بالقوه وقوع مسائل زیست محیطی مانند آلودگی، مصرف منابع غیر پایدار و دفع نامناسب محصول (شارما و همکاران، ۲۰۱۷؛ لاری و همکاران، ۲۰۱۶) را طی فرآیند تولید محصول نهایی در سازمان های تولیدی به حداقل می رساند (ژائو و همکاران، ۲۰۱۷؛ شارما و همکاران، ۲۰۱۷). امروزه، مدیریت زنجیره تامین سبز روشی ایده آل برای شرکت ها جهت دستیابی به سودهای بالاتر، به حداقل رساندن اتلاف منابع و بهبود کارایی اکولوژیکی (زید و همکاران، ۲۰۱۸)، ایجاد تعادل در مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی شرکت ها و ارتقا وضعیت پایداری سازمانی در نظر گرفته

شده است (لوترا و همکاران، ۲۰۱۶). در اصل، مدیریت زنجیره تامین سبز شامل چندین شیوه است، از جمله مدیریت داخلی محیط زیست، خرید سبز، همکاری محیطی مشتریان و لجستیک معکوس است، از طریق شیوه‌های مدیریت زنجیره تامین سبز، صاحبان کسب و کار قادر به مقاومت در برابر فشارهای محیطی نظارتی دولت و همچنین مردم (خریداران، مشتریان و جوامع) هستند. شیوه‌های مدیریت زنجیره تامین سبز سازمان‌ها را وادار می‌کند تا عملکرد کلی خود را از طریق نوآوری سبز بهبود بخشند. اجرای اقدامات برای حفاظت از محیط زیست (از جمله اکوسیستم‌های خاک، هوا و آب) به طور کلی عملکرد محیطی نامیده می‌شود. به عبارت دیگر عملکرد محیطی به نتایج واقعی تلاش‌های زیست محیطی از نظر حفاظت از محیط زیست اشاره دارد (عبیدات و همکاران، ۲۰۲۰). این مفهوم برای شرکت‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است. واگنر (۲۰۱۳) استدلال می‌کند که بهبود عملکرد محیطی منجر به عملکرد اقتصادی بهتر می‌شود. از این رو، افزایش آگاهی از محیط زیست باعث شده است نگرانی‌های مسائل زیست محیطی در نهادهای نظارتی عمومی و سایر ذینفعان گسترش یابد. از طرفی، خریداران نیز به طور فزاینده بر رفتار محیطی شرکتها تمرکز می‌کنند و این بر وفاداری و ترجیحات برند آنها تأثیر می‌گذارد (عبیدات و همکاران، ۲۰۲۰). چشم‌اندازهای قابل توجهی در بهبود عملکرد محیطی سازمان‌های تولیدی از طریق راهبردهای مدیریت محیطی، مانند مدیریت زنجیره تامین سبز و شیوه‌های نوآوری سبز وجود دارد (سمن و همکاران، ۲۰۱۹). از طریق اجرای شیوه‌های مدیریت منابع انسانی سبز، سازمان‌ها تشویق می‌شوند تا روابط خود را با تامین کنندگان و مشتریان بهبود بخشیده و برای دستیابی به عملکرد محیطی افزایش دهند، برای این کار، سازمان‌ها بایستی از تامین کنندگان خود اطمینان حاصل کنند تا مواد اولیه مطابق با محیط زیست برای آنها تهیه کنند تا بتوانند تأثیرات منفی زیست محیطی را طی فرآیندهای تولید به حداقل برسانند (لئونوفسکا و همکاران، ۲۰۲۳).

ارزیابی عملکرد کارایی با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها

زنجیره تامین شامل تمامی مراحل است که به طور مستقیم یا غیرمستقیم با تامین تقاضا و برطرف کردن مشتری ارتباط دارد. طراحی شبکه زنجیره تامین عبارت است از تصمیمات استراتژیک برای تعیین پیکره کلی زنجیره تامین. یکی از ابزارهای مناسب و کارآمد در ارزیابی کارایی زنجیره تامین، تحلیل پوششی داده‌ها است. این روش غیر پارامتری برای محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده است. نخستین بار فارل (۱۹۵۷) مدلی برای ارزیابی و محاسبه کارایی ارائه داد. پس از دو دهه چارنز، کوپر و رودز (۱۹۷۸) روش فارل را تعمیم دادند و آن را روش تحلیل داده‌ها نامیدند. آنها موسسات ارزیابی شونده را واحد تصمیم‌گیری نامیدند که وظیفه تبدیل خروجی به ورودی را بر عهده دارند. در سال‌های اخیر در خصوص ارزیابی عملکرد و تعیین میزان بهره‌وری سازمان‌ها توجه خاصی صورت گرفته و کاربردهای مختلف زنجیره تامین نیز مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. زنجیره تامین شبکه‌ای شامل چهار بخش تامین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتری از نظر اندازه و پیچیدگی با یک زنجیره ساده که نشان‌دهنده تصمیم‌گیری مستقل می‌باشد، متفاوت است. رفتارها و تعاملات آنها نیز با هم فرق می‌کنند. بنابراین

سنجش عملکرد زنجیره تأمین چهار بخشی باید طوری طراحی شود تا ویژگی های شبکه ای این زنجیره و تعاملات آن مد نظر قرار گیرد. به طور کلی هرچه زنجیره تأمین بزرگتر و پیچیده تر باشد، ارزیابی آن مشکل تر و چالش برانگیز تر خواهد بود. در بین روش های ارزیابی، تحلیل پوششی داده ها به طور گسترده در ارزیابی عملکرد نسبی مجموعه ای از فرآیندهای تولید به نام واحدهای تصمیم گیرنده، استفاده می شود. این روش غیر پارامتریک با ارائه مدل های مختلف قادر است واحدهای تصمیم گیرنده ای که با مصرف چندین ورودی، چندین خروجی تولید می نمایند را ارزیابی نماید. مدل های کلاسیک *DEA*، هیچ نظریه ای در ارتباط با فعالیت داخلی زنجیره تأمین (واحدهای تصمیم گیرنده) نداشته و آنها را به عنوان یک جعبه سیاه در نظر می گیرند به طوریکه ورودی های اولیه مصرف شده و خروجی های نهایی تولید شده آنها را جهت محاسبه کارایی مد نظر قرار می دهند. اینکه فعالیت ها و محصولات میانی زنجیره تأمین در نظر گرفته نمی شود، مناسب فرآیند تولید ساده بوده و در سیستم شبکه ای پیچیده کاربرد لازم را ندارد. در این پژوهش ارزیابی زنجیره تأمین شبکه ای در حضور ورودی ها و خروجی های غیر قابل کنترل، خروجی های نامطلوب و منفی مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. برای تشخیص ناکارایی و علل آن در بخش های میانی، محققین زیادی تلاش کردند مدل جعبه سیاه را رد کنند و ساختار درونی زنجیره تأمین را در مدل های *DEA* در نظر بگیرند. این مدل ها در ادبیات تحلیل پوششی داده ها، *DEA* شبکه ای نامیده می شوند. زنجیره تأمین یکی از مهم ترین و کاربردی ترین حالت های *DEA* شبکه ای می باشد. تهیه برنامه ریزی شده مواد اولیه، طراحی و تولید محصولات مناسب، توزیع و حمل و نقل بهینه آنها و در نهایت ارائه خدمات به مشتریان و رضایت آنها در قالب مدیریت زنجیره تأمین، مورد توجه بسیاری قرار دارد. در مدیریت زنجیره تأمین، کلیه اندازه گیری کارایی ها به دنبال دو هدف نهایی کاهش هزینه و افزایش سود می باشد. در زمینه تحلیل پوششی داده ها با ساختار شبکه ای، تحقیقات زیادی انجام شده که در تمامی آنها سعی شده حالت های مختلفی از یک شبکه را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند. به منظور اندازه گیری مناسب جهت محاسبه کارایی زنجیره تأمین، لازم است هم خواص شبکه ای زنجیره در نظر گرفته شود و هم روابط بین "تأمین کننده"، "تولید کننده"، "توزیع کننده" و "مشتري" نیز لحاظ گردد (کرماج و همکاران، ۲۰۲۳).

برای اندازه گیری کارایی به روش تحلیل پوششی داده ها مدل های مختلفی توسط محققان بیان و بررسی شده است که دو مدل چارنز، کوپر و رودز و بنکر، کوپر و چارنز از مدل های پایه و سنتی تحلیل پوششی داده ها محسوب می شوند که الگوهای خطی برای حل مسائل کارایی در حالت چند ورودی و چند خروجی هستند؛ و به ترتیب از نوع تکنولوژی بازده به مقیاس ثابت و متغیر هستند. در این روش با به کارگیری مجموعه ای از نقاط که توسط برنامه ریزی خطی تعیین شده اند، یک منحنی مرزی کارا ایجاد می شود. روش برنامه ریزی خطی با یک سری بهینه سازی، مشخص می شود که آیا واحدهای تصمیم گیری مدنظر روی خط کارایی قرار گرفته است یا خارج از آن قرار دارد. هدف اصلی تحلیل پوششی داده ها، تعیین کارایی یک سیستم یا واحد تصمیم گیری از طریق فرآیند تبدیل ورودی ها به خروجی ها است. واحدی که دارای کارایی مساوی یک باشد، واحد کارا نام دارد و دیگر واحدها که کارایی بین صفر و یک دارند، واحدهای ناکارا شناخته می شوند. مدل چارنز، کوپر و رودز اولین مدل تحلیل پوششی

داده‌ها است که برای اندازه‌گیری کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده است که در سال ۱۹۷۸ توسط چارنز، کوپر و رودز ارائه شده است. این مدل دارای دو ماهیت ورودی و خروجی است. فرم ضربی خطی شده ورودی محور مدل چارنز، کوپر و رودز به صورت معادلات (۱) تعریف می‌شود (اسدی و همکاران، ۲۰۲۳).

(۱)

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{io} \\ \text{s. t} \quad & \sum_{j=1}^m v_j x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0 \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} = 1 \\ & v_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, m \\ & u_r \geq 0 \quad r = 1, \dots, s \end{aligned}$$

که در معادلات ۱:

مقدار خروجی ام تولید شده به وسیله

مقدار ورودی ام تولید شده به وسیله

وزن داده شده به خروجی ام،

وزن داده شده به ورودی ام.

بنکر، چارنز و کوپر با تغییر در مدل چارنز، کوپر و رودز، مدل جدیدی را ارائه کردند که با توجه به حروف اول نام آن‌ها به **BCC** مشهور شد. این مدل در ارزیابی کارایی نسبی مانند مدل چارنز، کوپر و رودز شعاعی عمل می‌کند. با این تفاوت که در این مدل از بازده به مقیاس متغیر تبعیت می‌کند. مدل بنکر، چارنز و کوپر را می‌توان؛ مانند مدل چارنز، کوپر و رودز در ماهیت ورودی و خروجی بیان کرد. در ماهیت ورودی هدف، کاهش ورودی‌ها و در ماهیت خروجی هدف، افزایش خروجی‌هاست البته تا جایی

که از ناحیه شدنی خارج نشویم. مدل بنکر، چارنز و کوپر شامل قید تحذب مشاهدات یعنی است. با توجه به اینکه با افزایش قیود در مدل برنامه‌ریزی خطی، ناحیه شدنی کوچکتر می‌شود، لذا مقدار بهینه تابع هدف بهتر نمی‌شود، پس اگر مقدار بهینه مدل چارنز، کوپر و رودز و مقدار بهینه مدل بنکر، چارنز و کوپر در ارزیابی واحد تحت ارزیابی باشند، آنگاه رابطه این دو همواره برقرار است (فخر موسوی و همکاران، ۲۰۲۳).

(۲)

واحد تحت ارزیابی در مجموعه امکان تولید بنکر، چارنز و کوپر کارا است اگر و فقط اگر در غیر این صورت واحد تحت ارزیابی ناکارا خواهد بود . به عبارت دیگر واحد تحت ارزیابی کارایی بنکر، چارنز و کوپر است اگر و تنها اگر برای هر جواب بهینه در مدل بنکر، چارنز و کوپر دو شرط زیر برقرار باشد:

متغیرهای کمکی و همه صفر باشند.

در غیر این صورت واحد تحت ارزیابی را ناکارای بنکر، چارنز و کوپر می نامند که نشان دهنده ناکارایی در ماهیت ورودی است. در واقع مدل مضربی بنکر، چارنز و کوپر ورودی محور مطابق معادله (۳) در زیر است.

(۳)

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{io} + v_o \\ s. t \quad & \sum_{i=1}^m v_j x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + v_o \geq 0 \quad j = 1, \dots, n \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} = 1 \\ & v_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, m \\ & u_r \geq 0 \quad r = 1, \dots, s \end{aligned}$$

علامت در آزاد

v_o

در جدول (۱) مروری از مطالعات گذشته مرتبط با موضوع پژوهش ارائه شده است.

جدول ۱- پیشینه پژوهش

ردیف	محقق/ سال	هدف
۱	ترکاشوند و همکاران (۱۴۰۲)	در پژوهش خود با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه ای و داده کاوی به کارایی زنجیره تامین سبز در صنعت طیور پرداختند.
۲	شمسی جامخانه و همکاران (۱۳۹۹)	در پژوهش خود به کارایی و عملکرد زنجیره تامین با ساختار سه مرحله‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پرداختند.
۳	شجاع و همکاران (۱۳۹۹)	در مقاله خود کارایی زنجیره تامین چهار مرحله‌ای در حضور عوامل غیرقابل کنترل، نامطلوب و منفی با استفاده از مدل SBM در تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای ارزیابی کردند.
۴	حسین زاده سلجوقی و رحیمی (۱۳۹۸)	در پژوهش خود به ارزیابی کارایی و بازده به مقیاس زنجیره تامین صنایع رزین ایران با مدل تحلیل پوششی داده‌های قطعی و فازی پرداختند.

۵	امینی و علی نژاد (۱۳۹۸)	در پژوهش خود به ارزیابی مدیریت زنجیره تامین سبز شرکت‌های مواد نوشیدنی با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه ای پرداختند.
۶	لیانو و همکاران (۲۰۲۴)	در پژوهش خود به تحول دیجیتال و کارایی زنجیره تامین سبز شرکتی پرداختند.
۷	عبدالله و همکاران (۲۰۲۳)	در پژوهش خود به تأثیر سیستم تولید هوشمند، سبز، انعطاف‌پذیر و ناب بر عملکرد شرکت‌های کوچک و متوسط با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده پرداختند.
۸	ژانگ و همکاران (۲۰۲۳)	در مقاله خود به شناسایی شاخص‌های حیاتی در ارزیابی عملکرد زنجیره‌های تامین سبز با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره ترکیبی پرداختند.
۹	تاج بخش و حسنی (۲۰۱۵)	در مقاله خود یک رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی پایداری در شبکه‌های زنجیره تامین ارائه کردند.
۱۰	آزادی و همکاران (۲۰۱۵)	در پژوهش خود یک مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی جدید برای ارزیابی کارایی و اثربخشی تامین کنندگان در زمینه مدیریت زنجیره تامین پایدار را ارائه کردند.
۱۱	میرهدایتیان و همکاران (۲۰۱۴)	در مقاله خود یک مدل جدید تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای برای ارزیابی کارایی مدیریت زنجیره تامین سبز ارائه دادند.

ماخذ: یافته‌های تحقیق

روشی شناسی پژوهش

پژوهش حاضر با توجه به ماهیت و اهداف، یک تحقیق کاملاً توسعه ای - کاربردی است که در زمره مدل‌سازی ریاضی می‌باشد. در این تحقیق ابتدا با استفاده از دور مذاکرات دلفی به شیوه فازی مهمترین شاخص‌ها برای مدیریت زنجیره تامین سبز تعیین می‌شوند. سپس، با استفاده از رویکرد سوارای فازی اهمیت هر یک از شاخص‌ها تعیین می‌شود. در نهایت با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌های فازی عملکرد کارایی ۹ شرکت تولیدی لوازم خانگی (منتخب) اولویت‌بندی می‌شوند. جامعه آماری پژوهش حاضر شامل تعدادی از مدیران عالی، کارشناسان مسئول فعال و اساتید دانشگاه در حوزه زنجیره تامین سبز می‌باشد. در این پژوهش با بهره‌گیری از روش نمونه‌گیری هدفمند و گلوله برفی ۲۰ نفر از خبرگان علم- صنعت که ۱- دارای سابقه ۸ سال به بالا در کار داشتند ۲- دارای مدرک مربوطه باشند. ۳- تمایل به همکاری در این حوزه را داشتند، پرسشنامه طراحی شده در اختیار آن‌ها قرار داده شد. در جدول (۲)، مشارکت کنندگان از حیث جنسیت، تحصیلات، سمت شغلی و سابقه کار نشان داده شده است.

جدول ۲- ویژگی جمعیت شناختی مشارکت کنندگان

ردیف	رشته تحصیلی و مقطع تحصیلی	سابقه کار	سمت شغلی	سن
۱	مدیریت مالی	فوق لیسانس	مدیر مالی	۳۸
۲	مدیریت اجرایی	فوق لیسانس	مدیر اداری	۴۰
۳	مدیریت صنعتی	لیسانس	مدیر انبار	۴۴
۴	مدیریت بازاریابی	لیسانس	مدیر خدمات پس از فروش	۵۰
۵	مدیریت صنعتی	دکتری	مدیر تولید	۴۲
۶	مهندسی صنایع	فوق لیسانس	مدیر کیفیت	۵۵
۷	مدیریت مالی	لیسانس	مدیر فروش	۴۳
۸	حسابداری	لیسانس	مدیر حسابداری	۴۲
۹	مهندسی مالی	فوق لیسانس	مدیر بازرگانی	۴۷
۱۰	مهندسی صنایع	فوق لیسانس	مدیر مهندسی	۴۰
۱۱	مدیریت صنعتی	لیسانس	مدیر خرید	۳۵
۱۲	اقتصاد	لیسانس	مدیر بازاریابی	۳۲
۱۳	حسابداری		مدیر مالی	۴۰
۱۴	صنایع	فوق لیسانس	مدیر تولید	۴۱
۱۵	مهندسی برق	فوق لیسانس	مدیر مهندسی	۴۵
۱۶	مدیریت مالی	دکتری	استاد دانشگاه	۴۷
۱۷	مهندسی مالی	دکتری	استاد دانشگاه	۴۴
۱۸	مدیریت صنعتی	دکتری	استاد دانشگاه	۴۵
۱۹	مدیریت صنعتی	دکتری	استاد دانشگاه	۴۶
۲۰	مدیریت صنعتی	دکتری	استاد دانشگاه	۴۲

ماخذ: یافته‌های تحقیق

در این پژوهش، با توجه به اینکه از ابتدا برای قدم برداشتن در مراحل تحقیق، پروتکل‌هایی تعریف می‌شود بنابراین دارای قابلیت اعتبار، تایید است. همچنین، با توجه به اینکه کلیه مراحل تحقیق به روشنی معرفی و بیان شده‌اند، لذا قابل انتقال و تعمیم به پژوهش‌های دیگر نیز می‌باشد. سرانجام، با توجه به اینکه در طول تحقیق همواره سعی می‌شود تا مدلی در خور و مناسب تهیه و ساخته شود، محقق با مقایسه آن در مقابل مدل‌های موجود تلاش می‌کند تا از مدل ساخته شده در ذهن خواننده اطمینان ایجاد نماید.

مراحل اجرای روش

مرحله اول: روش دلفی فازی

دلفی فازی روشی برای دستیابی به توافق از دیدگاه خبرگان مبتنی بر اصول محاسبات منطق فازی و سیستم استنتاج فازی است. در این روش کوشش می‌شود با استفاده از اعداد فازی و محاسبات فازی دیدگاه خبرگان بهتر بازنمایی می‌شود. بر طبق این روش، در گام نخست باید خبرگان شناسایی شوند. اصل ناشناسی مهم‌ترین نکته در اجرای این روش است به این معنا که اعضای پنل خبرگان نباید از وجود هم مطلع باشند. براساس قیدهای مشخصی مانند تحصیلات و سابقه کاری مرتبط خبرگان را شناسایی می‌نماییم. تعداد ۶ تا ۱۲ نفر از خبرگان در این مرحله شناسایی می‌نماییم. بر طبق الگوریتم اجرای تکنیک دلفی فازی برای غربالگری نخست باید طیف فازی مناسبی برای فازی‌سازی عبارات کلامی پاسخ‌دهندگان توسعه داد. برای این منظور می‌توان از روش‌های توسعه طیف فازی استفاده کرد یا از طیف‌های فازی متداول برای این منظور استفاده کرد. برای نمونه می‌توان از طیف پنج درجه مطابق جدول ۳ استفاده کرد. اعداد فازی مثلثی متناظر با طیف لیکرت ۵ درجه در این جدول نشان داده شده اند. در این جدول، با استفاده از روش مینکوفسکی مطابق با رابطه ۴ فازی زدایی انجام می‌شود که مقدار قطعی متناظر هر مقدار کلامی و مقدار فازی و عدد مثلثی نوشته شده است (طالع زاده و همکاران، ۱۳۹۶).

(۴)

که در رابطه ۴، مقدار قطعی فازی زدایی شده، مقدار حد وسط در بازه مثلثی، کران بالا مثلثی و کران پایین بازه مثلثی است.

جدول ۳- اعداد فازی طیف لیکرت ۵ درجه (طالع زاده و همکاران، ۱۳۹۶)

مقدار قطعی	عدد فازی مثلثی	مقدار فازی	نماد	متغیر کلامی
۰/۰۶۲۵	(0,0,0.25)	$\tilde{1}$	UL	خیلی کم
۰/۳۱۲۵	(0,0.25,0.25)	$\tilde{2}$	L	کم
۰/۶۲۵	(0.25,0.5,0.25)	$\tilde{3}$	M	متوسط
۰/۸۷۵	(0.5,0.75,1)	$\tilde{4}$	H	زیاد
۱/۰۶۲۵	(0.75,1,1)	$\tilde{5}$	VH	خیلی زیاد

ماخذ: یافته‌های تحقیق

اگر مطابق با جدول (۳) فازی زدایی انجام شود، در اینصورت می‌توانیم با انتخاب یک مقدار برای شدت آستانه، شاخص‌هایی که مقدار کمتر برای آستانه دارند را حذف نماییم و روش دلفی را برای راند بعدی ادامه دهیم. راندهای دلفی تا جایی ادامه پیدا می‌کند که دیگر شاخصی حذف یا اضافه نشود.

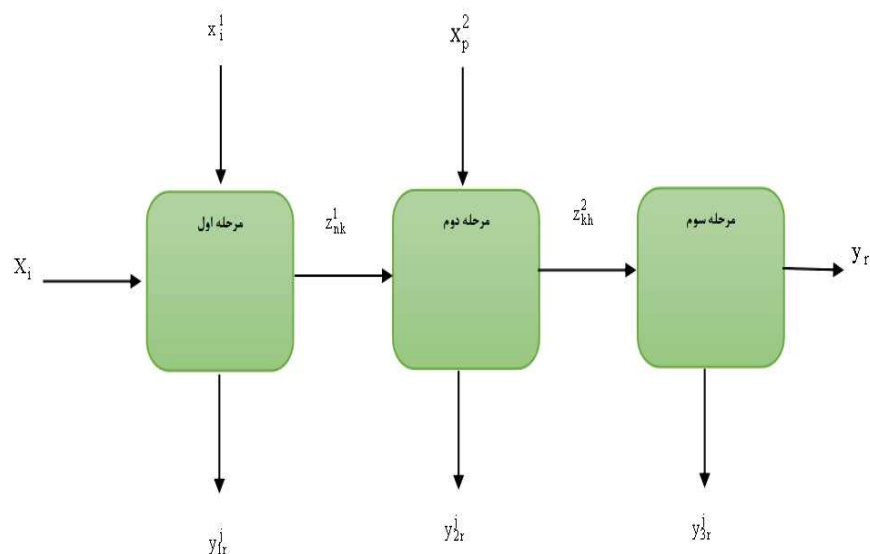
مرحله دوم: اولویت‌بندی عملکرد کارایی مدیریت زنجیره تامین سبز با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه ای فازی

برای این منظور، تولید محصول سبز در شرکت های لوازم خانگی را به صورت یک زنجیره مطابق با شکل ۱ در نظر می گیریم. این شکل یک نوع از زنجیره متوالی را نشان می دهد که برای توسعه مدل به طور کلی در نظر گرفته شده است. برای مدلسازی ریاضی فرض می کنیم که یک مجموعه تایی از به عنوان واحدهای تحت ارزیابی وجود دارد که مقداری ورودی در هر *DMU* مصرف می شود تا مقداری خروجی ایجاد شود. همچنین، برای ارتباط بین مراحل با یکدیگر تعدادی متغیر وجود دارد که به عنوان خروجی مرحله قبل به عنوان ورودی به مرحله بعد وارد سیستم می شوند. نمادگذاری متغیرهای اصلی به صورت زیر تعریف می شود.

: ورودی به کل زنجیره است که وزن آن با نشان داده می شود،
 : بردار ورودی مرحله اول که وزن آن با نشان داده می شود،
 : بردار ورودی مرحله دوم که وزن آن با نشان داده می شود،
 : بردار خروجی که از مرحله اول خارج می شود و وارد مرحله دوم می شود. و وزن آن با نشان داده می شود،

: بردار خروجی که از مرحله دوم خارج می شود و وارد مرحله سوم می شود. و وزن آن با نشان داده می شود،

و خروجی های اختصاصی مراحل اول، دوم و سوم است که وزن آنها با نشان داده می شود،
 : بردار خروجی کلی زنجیره است که وزن آن با نشان داده می شود،



شکل ۱- زنجیره چند مرحله‌ای

(5)

سرانجام، مدل پیشنهادی به صورت مجموعه معادلات ۵ تا ۱۰ مطابق زیر تعریف می‌شود.

(10)

$$\max \theta = \sum_{r=1}^S u_r y_r + \sum_{k=1}^K \mu_k z_{kh}^2 + \sum_{n=1}^N \eta_n z_{nk}^1 + \sum_{r=1}^S u'_r y_{3r}^j + \sum_{r=1}^S u'_r y_{2r}^j + \sum_{r=1}^S u'_r y_{1r}^j$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^I v_i x_i + \sum_{i'=1}^{I'} w_{i'} x_i^1 + \sum_{p=1}^P w'_p x_p^2 + \sum_{k=1}^K \mu_k z_{kh}^2 + \sum_{n=1}^N \eta_n z_{nk}^1 = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{n=1}^N \eta_n z_{nk}^1 + \sum_{r=1}^S u'_r y_{1r}^j - \left(\sum_{i=1}^I v_i x_i + \sum_{i'=1}^{I'} w_{i'} x_i^1 \right) \leq 0 \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^K \mu_k z_{kh}^2 + \sum_{r=1}^S u'_r y_{2r}^j - \left(\sum_{p=1}^P w'_p x_p^2 + \sum_{n=1}^N \eta_n z_{nk}^1 \right) \leq 0 \quad (8)$$

$$\sum_{r=1}^S u_r y_r + \sum_{r=1}^S u'_r y_{3r}^j - \sum_{k=1}^K \mu_k z_{kh}^2 \leq 0 \quad (9)$$

$$u_r, v_i, \mu_k, \eta_n, u'_r, w_{i'}, w'_p \geq 0$$

مدل (۵) قادر است امتیاز کارایی واحدهای تحت ارزیابی را محاسبه نماید. امتیاز کارایی محاسبه شده همواره بین صفر و یک

قرار دارد. تابع هدف تضمین می‌کند که در زنجیره تأمین بیشترین خروجی ممکن محاسبه شود، محدودیت (۶) تضمین می‌کند که سطح ورودی‌ها افزایش پیدا نکند و ثابت نگه داشته شود. محدودیت‌های (۷) تا (۹) تضمین می‌کند که مقدار کارایی بیشتر از یک محاسبه نشود. رابطه (۱۰) با توجه به اینکه مدل سازی تحلیل پوششی داده‌ها جز برنامه‌ریزی خطی است، تضمین می‌کند که متغیرهای مسأله مثبت باشند. برای مدل ساخته شده دو مفهوم به شرح زیر تعریف می‌نماییم.

تعریف ۱: یک *DMU* مانند را کارا می‌نامیم اگر و فقط اگر، تابع هدف برای مدل فوق دارای جواب بهینه برابر یک است. در غیر اینصورت، ناکارا است.

تعریف ۲: اگر در مجموعه معادلات فوق همه متغیرها یک مقدار کاملاً مثبت داشته باشند، یا همه متغیرهای کمبود برابر صفر باشند، *DMU* تحت ارزیابی مانند دارای جواب پارتو است.

یافته‌های پژوهش

در این تحقیق، اعضای پانل یا همان متخصصان و خبرگان که در دو بعد صنعت و دانشگاه به طور کلی طبقه بندی شده اند که پرسشنامه‌ها قرار است بین آن‌ها توزیع شود، شناسایی شده اند. به طور کلی، ۲۰ نفر خبره شناسایی شده اند که در زمینه مورد مطالعه تخصص و تجربه داشتند، در گام بعدی فرمی طراحی شد که شامل موضوع پژوهش، هدف پژوهش و مدت زمان و تعداد دوره‌های تقریبی پژوهش بوده و این فرم در اختیار خبرگان شناسایی شده قرار داده شد و از آنان خواسته شد تا تمایل و موافقت خود را با مشارکت در این تحقیق اعلام دارند، هر ۲۰ خبره در مجموع تمایل و موافقت خود را برای پژوهش نشان دادند. سپس، با استفاده از مطالعه کتابخانه‌ای و ادبیات پژوهش (در این پژوهش شاخص‌ها از پژوهش‌های کانگ و همکاران (۲۰۲۱)؛ لتوفسکا و همکاران (۲۰۲۳) استخراج شده است)، لیستی از معیارهایی که در بحث مدیریت زنجیره تأمین سبز مؤثر هستند را شناسایی می‌نماییم. سپس یک غربال اولیه انجام شد و معیارهای تکراری یا مترادف حذف شدند که در نهایت مجموعاً تعداد ۱۵ عامل مؤثر شناسایی شده است. در جدول (۴)، عوامل شناسایی شده برای مسأله نشان داده شده است. پس از شناسایی عوامل پژوهش به طراحی پرسشنامه و معیارها پژوهش بر اساس بررسی انجام شده، اقدام شده است. پرسشنامه طراحی شده در این مرحله را پرسشنامه اولیه یا پرسشنامه دوره اول می‌نامند. به منظور تأیید روایی و پایایی پرسشنامه طراحی شده نسبت به محاسبه مقدار آلفای کرونباخ اقدام شده است. با توجه به اینکه مقدار آلفای کرونباخ ۰/۹۶۱ محاسبه شده است و بیشتر از ۰/۷ می‌باشد، بنابراین می‌توان اظهار داشت که پرسشنامه از پایایی بسیار خوبی برخوردار است.

در این مرحله ابتدا پرسشنامه‌های توزیع شده بین خبرگان (۲۰ خبره) جمع‌آوری گردید، پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌های تکمیل شده که از ۲۰ پرسشنامه ارسالی، ۲۰ پرسشنامه بازگشت؛ دور اول جمع و مقدار امتیاز محاسبه شده هر یک از معیارها محاسبه می‌شود و سپس بر اساس محاسبات انجام شده به تجزیه و تحلیل پرسشنامه اول می‌پردازیم. در وهله اول تجمیع نظرات خبرگان را برای هریک از معیارها پرسشنامه به دست آوردیم، جدول زیر نظرات ۲۰ خبره را برای پرسشنامه اول ارائه می‌کند. بعد از جمع

آوری اطلاعات، مقدار امتیاز معیارها پرسشنامه را برای ارزیابی میزان اهمیت هر یک از معیارها محاسبه می‌کنیم تا امکان مقایسه با شاخص آستانه مشخص شده ممکن گردد. در جدول (۵)، مقدار فازی و دیفازی شده معیارات پرسشنامه در مرحله اول نشان داده شده است. با توجه به جدول (۵)، در ستون دیفازی به وسیله مقدار میانگین طیف، میزان اهمیت هر یک از شاخص‌ها مشخص شده است. در این تحقیق بر اساس نظرات خبرگان، معیارهای که مقدار دی فازی آن‌ها بیشتر از مقدار میانگین طیف (۳) باشد به عنوان معیارهای با اهمیت شناخته می‌شوند و معیارهایی که مقدار دی فازی آن‌ها کمتر از مقدار میانگین طیف باشد به عنوان معیارها کم اهمیت تلقی می‌گردند.

جدول ۴- تجمیع نظرات خبرگان برای پرسشنامه دور اول

ردیف	معیارها	طیف				
		۱ (بسیار کم)	۲ (کم)	۳ (متوسط)	۴ (زیاد)	۵ (بسیار زیاد)
عوامل تأثیرگذار بر مدیریت زنجیره تامین سبز						
۱	توزیع سبز	۱	۴	۵	۱۰	
۲	پل ارتباطی شفاف و موثر با تامین کنندگان و بنگاههای تجاری	۴	۲		۶	۸
۳	خط مشی و سیاست های زیست محیطی برای مدیریت زنجیره تامین سبز	۶		۶	۱	۷
۴	برقراری سیستم مدیریت ریسک زیست محیطی برای مدیریت زنجیره تامین سبز	۶		۳	۳	۸
۵	هزینه تامین قطعات سبز		۲	۴	۴	۱۰
۶	تعداد محصولات سبز ساخته شده در کارخانجات			۲	۱۱	۷
۷	نوآوری سبز			۵	۹	۶
۸	ممیزی زیست محیطی تامین کنندگان	۵	۵	۸	۲	
۹	هزینه های تأمین مواد اولیه				۱۹	۱
۱۰	طراحی سبز				۱۵	۵
۱۱	تنوع در قیمت عرضه ها		۱۸	۲		
۱۲	حداکثر رفاه اجتماعی و بهبود محیط زیست	۱	۷	۱۲		
۱۳	هزینه های تولید محصول سبز	۵	۶	۸	۱	
۱۴	هزینه های مدیریت زیست محیطی	۵	۹	۶		
۱۵	تعداد محصولات سبزی که تامین کننده برای کارخانجات تهیه می کنند			۵	۱۳	۲

ماخذ: یافته های تحقیق

جدول ۵- ارزش فازی و مقدار دی فازی معیارها پرسشنامه اول

معیارها	ارزش فازی معیارها			مقدار دی فازی	وضعیت معیارها
	L	M	U		
۱	۳	۴/۱۳۹۴۷	۵	۴/۰۷	تائید شده
۲	۲	۳/۴۸۴۱۴	۵	۲/۸۵	عدم تائید
۳	۳	۴/۱۳۹۴۷	۵	۲/۴۲	عدم تائید
۴	۳	۴/۵۳۱۶۴	۵	۱/۵۸	عدم تائید
۵	۳	۴/۴۴۸۱۵	۵	۴/۲۲	تائید شده
۶	۴	۴/۳۰۸۸۷	۵	۴/۴۰	تائید شده
۷	۳	۴/۳۴۲۷۸	۵	۴/۱۷	تائید شده
۸	۴	۴/۳۰۸۸۷	۵	۲/۹۱	عدم تائید
۹	۳	۴/۲۰۶۸	۵	۲/۸۶	عدم تائید
۱۰	۳	۴/۵۳۱۶۴	۵	۴/۲۷	تائید شده
۱۱	۱	۲/۹۰۹۹۴	۵	۲/۹۵	عدم تائید
۱۲	۳	۴/۳۴۲۷۸	۵	۱/۵۵	عدم تائید
۱۳	۳	۴/۱۳۹۴۷	۵	۲/۵۶	عدم تائید
۱۴	۴	۴/۳۰۸۸۷	۵	۴/۴۰	تأیید شده
۱۵	۳	۴/۱۳۹۴۷	۵	۴/۰۷	تأیید شده

ماخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به نتایج حاصل شده از دور اول، به طراحی پرسشنامه دور دوم می‌پردازیم. با توجه به مقدار دی فازی به‌دست‌آمده برای هر یک از معیارها پژوهش مشاهده می‌شود که از بین ۱۵ معیار طرح‌شده مدیریت زنجیره تامین سبز، مجموعاً ۸ معیار که شامل (۱). پل ارتباطی شفاف و موثر با تامین کنندگان و بنگاههای تجاری براساس معیار دوم)، (۲). برقراری سیستم مدیریت ریسک زیست محیطی برای مدیریت زنجیره تامین سبز براساس معیار (۴)، (۳). ممیزی زیست محیطی تامین کنندگان بر اساس معیار هشتم)، (۴. تنوع در قیمت عرضه ها بر اساس معیار (۱۱)، (۵. هزینه های تولید محصول سبز بر اساس معیار سیزدهم)، (۶. خط مشی و سیاست های زیست محیطی برای مدیریت زنجیره تامین سبز بر اساس معیار سوم)، (۷. هزینه های تامین مواد اولیه بر اساس معیار نهم) و (۸. حداکثر رفاه اجتماعی و بهبود محیط زیست بر اساس معیار دوازدهم) دارای مقدار دی فازی کمتر از میانگین طیف (مقدار ۳) می‌باشند؛ بنابراین این مقولات به‌عنوان معیارها کم‌اهمیت تلقی شده که می‌توانیم در پژوهش از آن‌ها صرف‌نظر کنیم. همچنین خبرگان در سؤال باز پرسشنامه مبنی بر اضافه کردن اقدام جدید در مدیریت زنجیره تامین سبز، مورد جدیدی در این مرحله اضافه نکردند.

در این گام پرسشنامه طراحی شده در دور دوم را برای خبرگان ارسال کردیم و پس از جمع‌آوری ۲۰ پرسشنامه، همانند گام قبلی، با تجمیع و میانگین نظرات خبرگان به تجزیه و تحلیل داده‌های جمعی مطابق با جدول (۶) پرداختیم. مانند دور اول روش، به محاسبه مقدار دیفازی عوامل می‌پردازیم. در صورتی که مقدار دیفازی شده بیشتر از طیف ۳ باشد، عامل شناسایی شده در تحلیل باقی می‌ماند. در جدول (۷)، مقدار دیفازی شده هر یک از عوامل نشان داده شده است.

جدول ۶- تجمیع نظرات خبرگان برای پرسشنامه دور دوم

معیارها		طیف				
ردیف		۱ (بسیار کم)	۲ (کم)	۳ (متوسط)	۴ (زیاد)	۵ (بسیار زیاد)
عوامل تأثیرگذار بر مدیریت زنجیره تامین سبز						
۱	توزیع سبز	۲	۶	۲	۱۰	
۲	هزینه تامین قطعات سبز		۲		۴	۱۴
۳	تعداد محصولات سبز ساخته شده در کارخانجات			۷	۳	۹
۴	نوآوری سبز			۱	۶	۱۳
۵	طراحی سبز		۲	۴	۴	۱۰
۶	هزینه های مدیریت زیست محیطی			۳	۱۲	۵
۷	تعداد محصولات سبزی که تامین کننده برای کارخانجات تهیه می کنند			۵	۹	۶

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۷- ارزش فازی و مقدار دی فازی معیارها پرسشنامه دوم

معیارها	ارزش فازی معیارها			مقدار دی فازی	وضعیت معیارها
	L	M	U		
۱	۳	۴/۱۳۹۴۷	۵	۴/۰۷	تائید شده
۲	۲	۳/۴۸۴۱۴	۵	۳/۴۹	تائید شده
۳	۳	۴/۱۳۹۴۷	۵	۴/۰۷	تائید شده
۴	۳	۴/۵۳۱۶۴	۵	۴/۲۷	تائید شده
۵	۳	۴/۴۴۸۱۵	۵	۴/۲۲	تائید شده
۶	۴	۴/۳۰۸۸۷	۵	۴/۴۰	تائید شده
۷	۳	۴/۳۴۲۷۸	۵	۴/۱۷	تائید شده

ماخذ: یافته‌های تحقیق

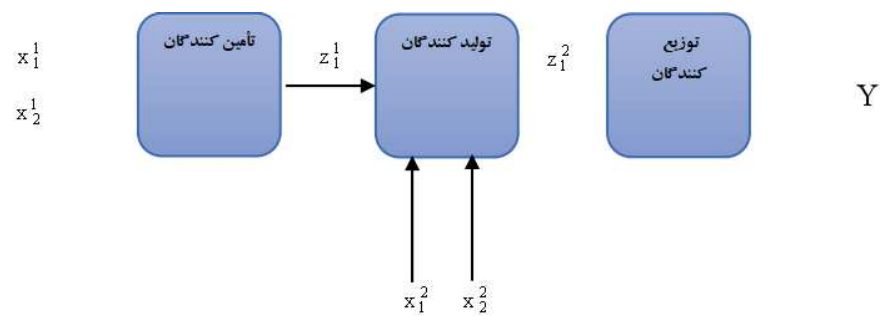
نتایج حاصل از محاسبات پرسشنامه دور دوم در جدول (۷) ارائه شده است و نشان می‌دهد که مقدار دی فازی تمام معیارها یا مقولات پژوهش بیشتر از مقدار میانگین طیف (۳) می‌باشد؛ بنابراین همه اقدامات یا معیارها پرسشنامه دوم، مهم و تأثیرگذار هستند و از طرف دیگر به مانند دور قبل هیچ مورد جدیدی توسط خبرگان پیشنهاد نشده است، بنابراین عوامل تأثیرگذار بر مدیریت زنجیره تامین سبز شناسایی شدند.

سپس، یک زنجیره تامین سبز برای ۹ شرکت تولیدکننده لوازم خانگی منتخب مورد ارزیابی قرار گرفته است. در جدول (۸)، فاکتورها و نمادهایی که در نظر گرفته شده است، نشان داده شده است. فاکتورها، از طریق پرسشنامه و جمع آوری اطلاعات از خبرگان فعال در حوزه تولیدکنندگان لوازم خانگی تعیین شده است. ساختار زنجیره تامین در شکل (۲) نشان داده شده است. طبق این ساختار، یک زنجیره تامین چندگانه داریم که شامل تامین کننده (مرحله اول)، تولیدکننده (مرحله دوم) و توزیع کننده (مرحله سوم) است. ورودی‌های مرحله اول هزینه‌های مدیریت زیست محیطی و هزینه‌های تامین قطعات سبز هستند. ورودی‌های مرحله اول، به عنوان ورودی کلی زنجیره نیز در نظر گرفته می‌شوند. در ساختار در نظر گرفته شده ورودی‌هایی که وارد مرحله اول می‌شوند را با برای نشان می‌دهیم. خروجی است که از مرحله اول خارج و به مرحله دوم وارد می‌شود. برای ورودی‌های اختصاصی مرحله دوم است که عبارت اند از طراحی سبز و نوآوری سبز. این متغیرها به صورت کیفی در نظر گرفته شده اند که برای انجام محاسبات با استفاده از مقیاس دو قطبی فاصله ای به مقادیر کمی تبدیل شده اند. خروجی است که از مرحله دوم خارج و به مرحله سوم وارد می‌شود. سرانجام، خروجی مرحله سوم است. توجه نمایید که خروجی مرحله آخر، به عنوان خروجی کلی زنجیره در نظر گرفته می‌شود، که در جدول (۹) نشان داده شده است. همچنین، ساختار شبکه در نظر گرفته شده از طریق مصاحبه خبرگان با شرکت‌های تولیدکننده لوازم خانگی منتخب به دست آمده‌اند.

جدول ۸- فاکتورهای استفاده شده در ارزیابی زنجیره تأمین سبز

تعریف	نماد	مرحله
هزینه های مدیریت زبست محیطی	x_1^1	تأمین کننده
هزینه های تأمین قطعات سبز	x_2^1	
طراحی سبز	x_1^2	تولید کننده
نواوری سبز	x_2^2	
توزیع سبز	Y	توزیع کننده
تعداد محصولات سبزی که تأمین کننده برای کارخانجات تهیه می کنند	z_1^1	میانی
تعداد محصولات سبز ساخته شده در کارخانجات	z_1^2	

ماخذ: یافته های تحقیق



شکل ۲- ساختار زنجیره تأمین

جدول ۹- داده‌ها

DMUs	نام شرکت	ورودی‌ها				میانی‌ها		خروجی
		x_1^1	x_2^1	x_1^2	x_2^2	z_1^1	z_1^2	Y
۱	آ	۴۰۰	۳۰	۹	۹	۳۲۰	۳۱۵	۹
۲	ب	۳۶۰	۶۰	۷	۵	۲۹۵	۲۹۰	۵
۳	پ	۳۳۰	۵۵	۷	۷	۲۹۰	۲۸۲	۷
۴	ت	۴۵۵	۲۵	۵	۷	۳۱۰	۳۱۲	۵
۵	ج	۳۷۰	۳۷	۹	۹	۲۸۰	۲۷۰	۷
۶	چ	۳۳۲	۸۰	۵	۵	۲۱۰	۲۰۰	۵
۷	ح	۳۵۵	۸۷	۷	۷	۲۳۵	۲۲۰	۵
۸	خ	۳۰۰	۹۵	۷	۷	۲۵۵	۲۳۵	۵
۹	د	۲۹۵	۵۰	۹	۹	۳۱۵	۳۱۸	۹

اسامی شرکت‌ها نزد محقق محفوظ می‌ماند.

در زنجیره در نظر گرفته شده در شکل (۲)، هزینه‌های زیست محیطی به‌عنوان هزینه‌های مربوط به تأمین قطعات سبز و مدیریت زیست محیطی با ارزش طبیعی از طریق فعالیت‌های اقتصادی تعیین می‌شود. بنابراین، این هزینه‌ها به‌عنوان ورودی مرحله اول در نظر گرفته شده است. ورودی/خروجی‌های میانی شامل مرحله دوم و سوم است. ورودی/خروجی میانی در بین مرحله تأمین‌کننده و تولیدکننده تعداد محصولاتی است که از تأمین‌کننده به تولیدکننده منتقل می‌شود. همچنین، ورودی/خروجی میانی در بین تولیدکننده و توزیع‌کننده تعداد محصولات سبز است. برای ارزیابی کارایی زنجیره تأمین سبز، هر زنجیره تأمین به‌عنوان **DMU** در مدل ۱۰ تا ۵۰ در نظر گرفته می‌شود تا امتیاز کارایی برای هریک از آنها محاسبه شود. با به‌کارگیری مدل مذکور، مرز کارایی و ماکزیمم امتیاز کارایی واحدهای تحت ارزیابی قابل محاسبه است. برای اندازه‌گیری کارایی کلی و سرانجام

رتبه‌بندی زنجیره‌های تأمین واحدهای تحت ارزیابی از رابطه محاسبه می‌شود. در جدول (۱۰)، امتیاز کارایی برای (آ) **DMU1** و **DMU7** (ح) به ترتیب برابر ۰/۸۹ و ۰/۶۹ است که به ترتیب بهترین و بدترین زنجیره تأمین سبز است.

جدول ۱۰- محاسبه امتیاز کارایی زنجیره طبق مدل پیشنهادی

کارایی زنجیره	DMU
۰/۸۹	آ
۰/۷۳	ب
۰/۸۰	پ
۰/۷۹	ت
۰/۸۲	ج
۰/۷۱	چ
۰/۶۹	ح
۰/۷۵	خ
۰/۸۸	د

ماخذ: یافته‌های تحقیق

همچنین، در جدول (۱۱)، کارایی کلی زنجیره‌های تأمین محاسبه شده با استفاده از رابطه نشان داده شده است. در محاسبه کارایی کلی، فعل و انفعالات درون زنجیره در نظر گرفته نمی‌شود، تنها ورودی و خروجی وارد شده و خارج شده از زنجیره در نظر گرفته می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود، (آ) $DMU1$ بهترین امتیاز کارایی را دارد. به عبارت دیگر سبزترین زنجیره تأمین است. توجه شود بدلیل اینکه در محاسبه امتیاز کارایی فعل و انفعالات درونی زنجیره در نظر گرفته نمی‌شود، امتیاز کارایی کاهش می‌یابد. دیگر نکته قابل ذکر در خصوص مدل ارائه شده این است که، هیچگونه تساوی بین امتیاز بدست آمده برای DMU ها وجود ندارد و مدل تحقیق می‌تواند DMU ها را به طور کامل رتبه بندی کند. این به معنای قدرت بالای تفکیک DMU ها در

رویکرد پیشنهادی ارائه شده است. اما برای اندازه گیری امتیاز رتبه زنجیره های تأمین از رابطه استفاده می‌نماییم. طبق این رابطه نتایج امتیاز بندی واحدهای تحت ارزیابی مطابق جدول (۱۱) محاسبه می‌شود. که در صورت مرتب کردن افزایشی به ترتیب مرتب می‌شوند.

جدول ۱۱- محاسبه امتیاز رتبه بندی

رتبه	کارایی زنجیره	DMU
۱	۰/۳۸	آ
۷	۰/۳۱	ب
۴	۰/۳۴	پ
۵	۰/۳۳	ت
۳	۰/۳۵	ج
۸	۰/۳۰	چ
۹	۰/۲۹	ح
۶	۰/۳۲	خ
۲	۰/۳۷	د

ماخذ: یافته‌های تحقیق

نکته قابل تأمل در خصوص مدل پیشنهاد شده در مقایسه با مدل های تصمیم گیری این است که، مدل پیشنهادی ضمن اینکه قادر به رتبه بندی واحدهای تحت ارزیابی است، برای رتبه بندی امتیاز اختصاص می دهد. بنابراین، چارچوب پیشنهادی می تواند در زمره روش های ترتیبی (اوردینال) و هم امتیازی (کاردینال) قرار بگیرد.

برای اعتبار سنجی این پژوهش از مدل تحلیل پوششی داده ها (CCR) استفاده شده است. این مدل یکی از اولین مدل تحلیل پوششی داده‌ها است، که توسط چارلز و همکاران (۱۹۷۸) برای محاسبه امتیاز کارایی با ورودی ها و خروجی های چندگانه توسعه داده شده است. مبنای شکل گیری این مدل، تعریف کارایی به صورت نسبت یک خروجی به یک ورودی است. به عبارت دیگر، در مدل CCR برای محاسبه کارایی فنی، به جای استفاده از نسبت یک خروجی به یک ورودی، از نسبت مجموع موزون خروجی ها (خروجی مجازی) به مجموع موزون ورودی ها (ورودی مجازی) استفاده می شود. از موضوعات بسیار مهم در تحلیل پوششی داده‌ها مشخص کردن نوع بازده به مقیاس است. بازده به مقیاس ارتباط بین تغییرات ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم را نشان می‌دهد. یکی از توانایی‌های روش DEA، تعیین بازده به مقیاس‌های متفاوت در واحدهای سیستم است. در بازده به مقیاس ثابت (CRS)، هر مضربی از ورودی‌ها همان مضرب از خروجی‌ها را تولید می‌کند. با فرض بازده به مقیاس ثابت، واحدهای کوچک و بزرگ با هم مقایسه می‌شوند. در بازده به مقیاس متغیر هر مضربی از ورودی‌ها می‌تواند همان مضرب از خروجی‌ها یا کمتر و یا بیشتر از آن را در خروجی‌ها تولید کند. به همین علت به منظور نشان دادن قابلیت مدل پیشنهادی، مدل توسعه داده شده با مدل پایه هم ارز خود مقایسه می شود. با توجه به اینکه مدل پیشنهادی یک مدل بازده به مقیاس ثابت (CRS) است، بنابراین با مدل پایه CCR که خود نیز یک مدل CRS است مقایسه می شود. با توجه به اینکه مدل های پایه تحلیل پوششی داده‌ها، با فعل و انفعالات درونی سیستم سروکار ندارند، و فقط براساس ورودی ها و خروجی ها در نظر گرفته می شوند، در

اینصورت از در نظر گرفتن متغیرهای میانی چشم پوشی می شود. ساختار سیستم برای مدل های پایه بصورت شکل (۳) تبدیل خواهد شد. با توجه به اینکه ورودی های مرحله اول در شکل (۳)، ورودی های کلی سیستم و خروجی مرحله آخر به عنوان خروجی کلی سیستم در نظر گرفته می شوند، بنابراین عناصر میانی و ورودی های اختصاصی مرحله دوم در این تحلیل در نظر گرفته نمی شوند.



شکل ۳- سیستم زنجیره تأمین

در جدول (۱۲)، فاکتورهای در نظر گرفته شده برای ارزیابی سیستم زنجیره تأمین در حالت استفاده از مدل **CCR** نشان داده شده است.

جدول ۱۱- فاکتورهای مربوط به سیستم زنجیره تأمین

سیستم زنجیره تأمین	نماد	تعریف
	x_1^1	هزینه های مدیریت زیست محیطی
	x_2^1	هزینه های تأمین قطعات سبز
	Y	توزیع سبز

ماخذ: یافته های تحقیق

با اجرای مدل **CCR** در نرم افزار گمز که در مجموعه معادلات ۱۱ مدل ریاضی آن نشان داده شده است نتایج کارایی **DMU** ها مطابق با جدول (۱۳) محاسبه شده است.

$$Max \theta = \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} \quad (11)$$

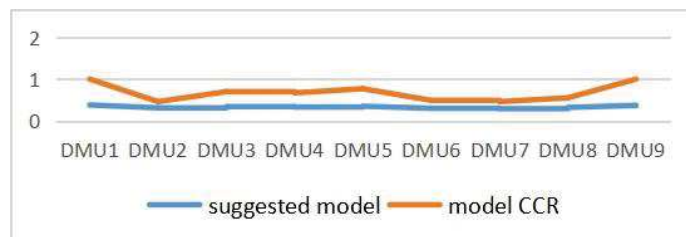
$$\begin{aligned}
 &S.t \\
 &\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1 \\
 &\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \\
 &u_r, v_i \geq 0
 \end{aligned}$$

جدول ۱۳- محاسبه امتیاز کارایی سیستم زنجیره تامین با CCR

کارایی زنجیره	DMU
۸۹/۰	آ
۷۳/۰	ب
۸۰/۰	پ
۷۹/۰	ت
۸۲/۰	ج
۷۱/۰	چ
۶۹/۰	ح
۷۵/۰	خ
۸۸/۰	د

ماخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به جدول (۱۳)، مشاهده می‌شود که در حالت استفاده از مدل‌های پایه با خاصیت فراتخمینی در محاسبه امتیاز کارایی *DMU*‌ها روبرو هستیم. براساس این خاصیت، امتیاز کارایی *DMU*‌ها همواره بیشتر از مقدار مدل پیشنهادی تخمین زده شده است. برای مثال، (آ) *DMU 1* و (د) *DMU 9* در مدل پیشنهادی ناکارا شناسایی شده‌اند، اما در مدل پایه کارا شناسایی شده‌اند. در شکل (۴)، نمودار امتیاز کارایی دو مدل پیشنهادی و *CCR* نشان داده شده است. براساس این نمودار با توجه به اینکه همواره امتیاز کارایی در مدل پیشنهادی کمتر از مدل *CCR* است، بنابراین دقت مدل توسعه داده شده را می‌توان نتیجه گرفت.



شکل ۴- مقایسه امتیاز کارایی مدل پیشنهادی و CCR

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

امروزه مدیریت زنجیره تامین سبز، یکپارچه کننده مدیریت زنجیره تامین با الزامات زیست محیطی، به دلیل آثار مهم اقتصادی و محیطی که به دنبال دارد از موضوعاتی که بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با افزایش قوانین و مقررات زیست محیطی و افزایش آگاهی‌های مردم در خصوص حفاظت از محیط زیست شرکت‌ها اگر خواستار فعالیت در بازارهای جهانی و رقابت با شرکت‌های دیگر باشند دیگر به راحتی نمی‌توانند مسائل زیست محیطی را نادیده بگیرند، در نظر گرفتن معیارها و ملاحظات زیست محیطی مزیت رقابت را برای آنها در بر خواهد داشت مدیریت زنجیره تامین سبز به شکل‌های شبکه‌ای با ارتباطات و مراحل چندگانه است. در این پژوهش برای ارزیابی عملکرد کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده دو مرحله ارائه شده است. این مدل برای ارزیابی یک ساختار زنجیره تامین سبز سه مرحله مورد استفاده قرار گرفته است. مدل مورد نظر برگرفته از روش دلفی فازی و روش تحلیل پوششی داده‌های فازی است. در این پژوهش داده‌های مربوط به بازه زمانی ۱۴۰۲-۱۳۹۹ تعداد ۹ شرکت لوازم خانگی با رویکرد تحلیل پوششی داده‌های فازی مورد ارزیابی و تحلیل قرار می‌گیرد. در مرحله اول به طور کلی، ۲۰ نفر خبره شناسایی شده‌اند که در زمینه مورد مطالعه تخصص و تجربه داشتند و سپس با استفاده از مطالعه کتابخانه‌ای و ادبیات پژوهش، لیستی از عوامل و اقداماتی که در بحث مدیریت زنجیره تامین سبز مؤثر هستند شناسایی شد و با استفاده از روش دلفی فازی یک غربال اولیه انجام شد و اقدامات تکراری یا مترادف حذف شدند که در نهایت مجموعاً تعداد ۱۵ عامل مؤثر شناسایی شد. با توجه به نتایج حاصل شده از دور اول، به طراحی پرسشنامه دور دوم می‌پردازیم. با توجه به مقدار دی فازی به‌دست‌آمده برای هر یک از معیارها پژوهش مشاهده می‌شود که از بین ۱۵ معیار طرح‌شده در مدیریت زنجیره تامین سبز، مجموعاً ۸ معیار که شامل (۱. پل ارتباطی شفاف و مؤثر با تامین کنندگان و بنگاههای تجاری براساس معیار دوم)، (۲. برقراری سیستم مدیریت ریسک زیست محیطی برای مدیریت زنجیره تامین سبز براساس معیار ۴)، (۳. ممیزی زیست محیطی تامین کنندگان بر اساس معیار هشتم)، (۴. تنوع در قیمت عرضه‌ها بر اساس معیار ۱۱)، (۵. هزینه‌های تولید محصول سبز براساس معیار سیزدهم)، (۶. خط مشی و سیاست‌های زیست محیطی برای مدیریت زنجیره تامین سبز بر اساس معیار سوم)، (۷. هزینه‌های تأمین مواد اولیه بر اساس معیار نهم) و (۸. حداکثر رفاه اجتماعی و بهبود محیط زیست بر اساس معیار دوازدهم) دارای مقدار دی فازی کمتر از میانگین طیف (مقدار ۳) می‌باشند؛ بنابراین این مقولات به‌عنوان معیارها کم‌اهمیت تلقی شده که در پژوهش از آنها صرف‌نظر شد. همچنین خبرگان در سؤال باز پرسشنامه مبنی بر اضافه کردن اقدام جدید در مدیریت زنجیره تامین سبز، مورد جدیدی در این مرحله اضافه نکردند، سرانجام ۷ شاخص مورد تایید قرار گرفت.

پسپ در زنجیره در نظر گرفته شده که به آن اشاره شد، هزینه‌های زیست محیطی به‌عنوان هزینه‌های مربوط به تأمین قطعات سبز و مدیریت زیست محیطی با ارزش طبیعی از طریق فعالیت‌های اقتصادی تعیین شد. این هزینه‌ها به‌عنوان ورودی مرحله اول در نظر گرفته شد. ورودی/خروجی‌های میانی شامل مرحله دوم و سوم است. ورودی/خروجی میانی در بین مرحله تامین‌کننده و تولیدکننده تعداد محصولاتی است که از تامین‌کننده به تولیدکننده منتقل می‌شود. همچنین، ورودی/خروجی

میانی در بین تولیدکننده و توزیع‌کننده تعداد محصولات سبز است. برای ارزیابی کارایی زنجیره تامین سبز، هر زنجیره تامین به عنوان *DMU* در مدل ارائه شده در نظر گرفته شد تا امتیاز کارایی برای هریک از آنها محاسبه شود. با به کارگیری مدل مذکور، مرز کارایی و ماکزیمم امتیاز کارایی واحدهای تحت ارزیابی قابل محاسبه است. که امتیاز کارایی برای شرکت *A* (*DMU1*) و شرکت *C* (*DMU7*) به ترتیب برابر $0/89$ و $0/69$ است که به ترتیب بهترین و بدترین زنجیره تامین سبز است و طبق رتبه بندی نهایی شرکت *A* رتبه ۱ و شرکت *C* رتبه ۹ را به خود اختصاص داد.

مدل پیشنهادی برای مدیران در حوزه زنجیره تامین بسیار کارا و کاربردی می باشد. زیرا امکان مدلسازی زنجیره تامین با فاکتورهای غیرقطعی و بسیار نزدیک به مسئله واقعی را به متخصصان داده و می توان در خصوص دامنه وسیعی از متغیرها به طور همزمان تصمیم گیری نمود. به علاوه امکان در نظر گرفتن همزمان چندین هدف به عنوان معیارهای انتخاب سناریوی برتر از ویژگیهای مدل ارائه شده است که برای مدیران در دنیای واقعی، به خصوص در شرایط کنونی که مسائل زیست محیطی اهمیت ویژه ای پیدا کرده و به عنوان عاملی تعیین کننده در تصمیمات مدیریتی مطرح گردیده است، بسیار مطلوب می باشد. این نتیجه برای مطالعات آینده پیشنهاداتی از سوی نویسندگان به تحلیلگران پیشنهاد می شود که به سنجش مولفه های کمی از جمله زمان، هزینه، کارایی جهت ارزیابی عملکرد مدیریت زنجیره تامین سبز در صنعت لوازم خانگی بپردازند.

منابع و مآخذ

- امینی، امیر، علی نژاد، علیرضا. (۱۳۹۸). ارزیابی مدیریت زنجیره تامین سبز شرکت‌های مواد نوشیدنی با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده های شبکه ای. نشریه علمی مدیریت زنجیره تامین، ۳۱(۶۳)، ۵۱-۶۳.
- ترکاشوند، طاهره. ثقفی، فاطمه، درویش متولی، محمد حسین. پیله وری، نازنین، (۱۰۴۲). مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌های شبکه ای و داده کاوی برای پیش بینی کارایی در زنجیره تامین سبز. فصلنامه مدیریت توسعه و تحول، ۱۵(۵۳)، ۵۵-۷۱.
- جهانشاهلو، غلامرضا، حسین زاده لطفی، فرهاد، نیکو مرام، هاشم، (۱۳۹۲)، تحلیل پوششی داده ها و کاربردهای آن، انتشارات نفیس دانشگاه آزاد علوم تحقیقات.
- حسین زاده سلجوقی، فرانک، رحیمی. امیر، (۱۳۹۷). ارزیابی کارایی و بازده به مقیاس زنجیره تامین صنایع رزین ایران با مدل تحلیل پوششی داده‌های قطعی و فازی. مدیریت تولید و عملیات، ۱۰(۱)، ۶۳-۴۷.
- شجاع، مهدی، حسین زاده لطفی، فرهاد، غلام ابری، امیر، رشیدی کمیجان، علیرضا. (۱۳۹۹). کارایی زنجیره تامین چهار مرحله‌ای در حضور عوامل غیرقابل کنترل، نامطلوب و منفی با استفاده از مدل *SBM* در *DEA* شبکه‌ای. فصلنامه علمی مدلسازی اقتصادی، ۱۴(۵۱)، ۹۸-۷۳.
- شمسی جامخانه، رحمانی پرچکلایی، حسین زاده لطفی، حاجی مولانا. (۱۳۹۹). سنجش کارایی و عملکرد زنجیره‌تأمین با ساختار سه مرحله‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن (ریاضی کاربردی)-دانشگاه آزاد لاهیجان، ۱۷(۴)، ۱۱۶-۹۹.

- Abdullah, A., Saraswat, S., & Talib, F. (2023). Impact of smart, green, resilient, and lean manufacturing system on SMEs' performance: A Data Envelopment Analysis (DEA) approach. *Sustainability*, 15(2), 1379.
- Ahmed, W., Najmi, A., Arif, M., & Younus, M. (2019). Exploring firm performance by institutional pressures driven green supply chain management. *Smart and Sustainable Built Environment*, 8(5), ۴۱۵-۴۳۷.
- Asadi, F., Kordrostami, S., Amirteimoori, A., & Bazrafshan, M. (2023). Inverse data envelopment analysis without convexity: double frontiers. *Decisions in Economics and Finance*, 46(1), 335-3۵۴.
- Azadi, M., Jafarian, M., Saen, R. F., & Mirhedayatian, S. M. (2015). A new fuzzy DEA model for evaluation of efficiency and effectiveness of suppliers in sustainable supply chain management context. *Computers & Operations Research*, 54, 274-285.
- Badi, S., & Murtagh, N. (2019). Green supply chain management in construction: A systematic literature review and future research agenda. *Journal of cleaner production*, 223, 312-322.
- Boskabadi, A., Mirmozaffari, M., Yazdani, R., & Farahani, A. (2022). Design of a distribution network in a multi-product, multi-period green supply chain system under demand uncertainty. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 226-237.
- Cook, W. D. and R. H. Green (2005). Evaluating power plant efficiency: a hierarchical model. *Computers & Operations Research* 32(4), 813-823.
- Cooper, W. W., L. M. Seiford, and K. Tone (2005). Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references. Springer.
- Dubey, R., Gunasekaran, A., & Papadopoulos, T. (2017). Green supply chain management: theoretical framework and further research directions. *Benchmarking: An International Journal*, ۲۳(۱), ۱۸۴-۲۱۸.
- Fakhr Mousavi, S. M., Amirteimoori, A., Kordrostami, S., & Vaez-Ghasemi, M. (۲۰۲۳). α -radial two-stage network DEA model to estimate returns to scale. *Journal of Modelling in Management*, 14(۱), ۳۶-۶۰.
- Feng, Y., Lai, K. H., & Zhu, Q. (2022). Green supply chain innovation: Emergence, adoption, and challenges. *International Journal of Production Economics*, 108497.
- Gao, J., Xiao, Z., & Wei, H. (2021). Competition and coordination in a dual-channel green supply chain with an eco-label policy. *Computers & Industrial Engineering*, 153, 107057.
- Green, K. W., Inman, R. A., Sower, V. E., & Zelbst, P. J. (2019). Impact of JIT, TQM and green supply chain practices on environmental sustainability. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(1), 26-47.
- Haiyun, C., Zhixiong, H., Yüksel, S., & Dinçer, H. (2021). Analysis of the innovation strategies for green supply chain management in the energy industry using the QFD-based hybrid interval valued intuitionistic fuzzy decision approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110844.

Hou, G., Wang, Y., & Xin, B. (2019). A coordinated strategy for sustainable supply chain management with product sustainability, environmental effect and social reputation. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1143-1156.

Jabbour, A.B., Jabbour, C., Govindan, K., Kannan, D., Arantes, A.F., (2014). Mixed methodology to analyze the relationship between maturity of environmental management and the adoption of green supply chain management in Brazil.

Jan, A., Marimuthu, M., & Hassan, R. (2019). Sustainable business practices and firms financial performance in Islamic banking: Under the moderating role of Islamic corporate governance. *Sustainability*, 11(23), 6606.

Kang, K., Gao, S., Gao, T., & Zhang, J. (2021). Pricing and Financing Strategies for a Green Supply Chain With a Risk-Averse Supplier. *IEEE Access*, 9, 9250-9۲۶۱.

Kao, C. (2009). Efficiency measurement for parallel production systems. *European Journal of Operational Research* 196(3), 1107–1112.

Khan, M., Ajmal, M. M., Jabeen, F., Talwar, S., & Dhir, A. (2023). Green supply chain management in manufacturing firms: A resource- based viewpoint. *Business Strategy and the Environment*, 32(4), 1603-1618.

Krmac, E., & Mansouri Kaleibar, M. (2023). A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) methodology in port efficiency evaluation. *Maritime Economics & Logistics*, 25(4), 817-۸۸۱.

Laari, S., Töyli, J., Solakivi, T., & Ojala, L. (2016). Firm performance and customerdriven green supply chain management. *Journal of cleaner production*, 112, 1960-1۹۷۰.

Letunovska, N., Offei, F. A., Junior, P. A., Lyulyov, O., Pimonenko, T., & Kwilinski, A. (2023). Green Supply Chain Management: The Effect of Procurement Sustainability on Reverse Logistics. *Logistics*, 7(3), 47.

Li, B., Zhu, M., Jiang, Y., Li, Z., (2016). Pricing policies of a competitive dual-channel green supply chain. *J. Clean. Prod.* 112: 2029-2042.

Liao, F., Hu, Y., Chen, M., & Xu, S. (2024). Digital transformation and corporate green supply chain efficiency: Evidence from China. *Economic Analysis and Policy*, 81, 195-207.

Luthra, S., Garg, D., & Haleem, A. (2016). The impacts of critical success factors for implementing green supply chain management towards sustainability: An empirical investigation of Indian automobile industry. *Journal of Cleaner Production*, 121, 142–158.

Mirhedayatian, S. M., Azadi, M., & Saen, R. F. (2014). A novel network data envelopment analysis model for evaluating green supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 147, 544-554.

Muhammad, Z., Zulkipli, C., & Haseeb, U. R. (2016). Corporate sustainability practices & reporting: A case of Malaysian REITs and property listed companies. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 6(2), 688–693.

Obeidat, S. M., Al Bakri, A. A., & Elbanna, S. (2020). Leveraging “green” human resource practices to enable environmental and organizational performance: Evidence from the Qatari oil and gas industry. *Journal of Business Ethics*, 164(2), 371-388.

Sarkis, J., (2012). A boundaries and flows perspective of green supply chain management. *Supply Chain Manag. Int. J.* 17 (2), 202e216.

Seman, N. A. A., Govindan, K., Mardani, A., Zakuan, N., Saman, M. Z. M., Hooker, R. E., & Ozkul, S. (2019). The mediating effect of green innovation on the relationship between green supply chain management and environmental performance. *Journal of Cleaner Production*, 229, 115-127.

Seuring & M. Müller, (2008). 'From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management,' *J. Cleaner Prod.*, vol. 16, no. 15, pp. 1699-1710, Oct.

Sharma, V. K., Chandna, P., & Bhardwaj, A. (2017). Green supply chain management related performance indicators in agro industry: A review. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1194-1200.

Silva, G. M., Gomes, P. J., Carvalho, H., & Geraldés, V. (2021). Sustainable development in small and medium enterprises: The role of entrepreneurial orientation in supply chain management. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 3804-3820.

Taherinezhad, A., & Alinezhad, A. (2023). Nations performance evaluation during SARS-CoV-2 outbreak handling via data envelopment analysis and machine learning methods. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 10(1), 2022-243.

Tajbakhsh, A., & Hassini, E. (2015). A data envelopment analysis approach to evaluate sustainability in supply chain networks. *Journal of Cleaner Production*, 105, 74-88.

Tseng, M.-L., Islam, M. S., Karia, N., Fauzi, F. A., & Afrin, S. (2019). A literature review on green supply chain management: Trends and future challenges. *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 145-162.

Wagner, M. (2013). 'Green' human resource benefits: Do they matter as determinants of environmental management system implementation? *Journal of Business Ethics*, 114(3), 443-456.

Zaid, A. A., Jaaron, A. A., & Bon, A. T. (2018). The impact of green human resource management and green supply chain management practices on sustainable performance: An empirical study. *Journal of Cleaner Production*, 204, 965-979.

Zhang, C., Tang, L., & Zhang, J. (2023). Identifying Critical Indicators in Performance Evaluation of Green Supply Chains Using Hybrid Multiple-Criteria Decision-Making. *Sustainability*, 15(7), 6095.

Zhu, Q., Feng, Y., & Choi, S. B. (2017). The role of customer relational governance in environmental and economic performance improvement through green supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 155, 46-53.

Zhu, Q., Sarkis, J., Lai, K.H., (2013), Institutional-based antecedents and performance outcomes of internal and external green supply chain management practices. *J. Purch. Supply Manag.* 19 (2), 106-117.

Determining the efficiency of the green supply chain in selected Iranian home appliance companies

Somayeh Sazegari,^۱ Sayyed Mohammad Reza Davoodi^{*} and Alireza Goli[†]

Abstract

This research aims to determine the efficiency of the green supply chain in selected Iranian home appliance companies. It is a developmental-applied research method that is in the category of mathematical modeling. The statistical population of this research includes a number of top managers and responsible experts active in the field of home appliance industry and a number of academic professors in the field of green supply chain, of which 20 people were selected as a sample. In this research, fuzzy Delphi approaches and fuzzy data envelopment analysis method have been used. Information was collected from 9 home appliance companies (selected) and analyzed. In this article, first, by reviewing the literature and interviewing science-industry experts, the criteria affecting the green supply chain management were identified, and by using the fuzzy Delphi method, a screening was carried out in two stages, and finally 7 criteria were approved. Then, using fuzzy data envelopment analysis, the ranking of the evaluated units was done. The results showed that company A has the best efficiency and the greenest supply chain, and company H has the worst efficiency, which means that it is necessary to pay more attention to companies with low efficiency. In order to show the capability of the proposed model, the developed model was compared with its equivalent basic model and the accuracy of the developed model was concluded.

Keywords: green supply chain management, performance evaluation, efficiency, fuzzy data envelopment analysis, fuzzy Delphi.

^۱ PhD Candidate of Industrial Management, Department of Management, Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran. Email: Somayeh.sazegari@gmail.com.

^{*} Corresponding Author, Associate professor. Department of Management, Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran. Email: Smrdavoodi@ut.ac.ir.

[†] Assistant Professor, Department of Industrial Engineering and Future Studies, Faculty of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran. goli.a@eng.ui.ac.ir.