فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
سال هفدهم/ شماره ۶۲ / زمستان ۱۴۰۱

ارائه مدلی برای ارزیابی کارایی پایداری زنجیره تامین با درنظرگیری موازنه نسبی میان اهداف پایداری با استفاده از نظریه بازی

محسن یعقوبی زاده ونینی
دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
رضا یوسفی زنوز (نویسنده مسؤول)
استادیار، گروه فناوری اطلاعات و مدیریت عملیات، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
Email: reza.zenouz@khu.ac.ir
سید امیر رضا ابطحی
استادیار، گروه فناوری اطلاعات و مدیریت عملیات، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
کاوه خیلی دامغانی
دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۴ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۰۶/۲۱

چکیده
پایداری زنجیره تامین یک ضرورت برای کسب و کارها در دنیای امروز است تا سازمان‌ها علاوه بر هدف اقتصادی به اهداف اجتماعی و زیست محیطی نیز توجه داشته باشند. از این رو و بمنظور حصول اطمینان از تحقق این اهداف، اندازه‌گیری عملکرد پایداری زنجیره تامین امری اجتناب ناپذیر محسوب می‌شود. مساله ارزیابی عملکرد پایداری زنجیره تامین از یک سو تحت تاثیر تعارضات منافع ذاتی میان اهداف پایداری است که باعث تشدید پیچیدگی این مساله می‌شوند و از سوی دیگر می‌بایست بگونه‌ای برنامه‌ریزی شده باشد تا قابلیت ارائه دانش کافی از وضعیت عملکرد هم پایداری زنجیره تامین و هم عملکرد در هر یک از اهداف پایداری را داشته باشد. در این مطالعه یک مدل ریاضی ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و تئوری بازی برای ارزیابی کارایی زنجیره تامین پایدار و کارایی اهداف پایداری با در نظرگرفتن موازنه نسبی میان اهداف پایداری ارائه شده است. موازنه نسبی میان اهداف پایداری با بازی چانه‌زنی نش در مدل پیشنهادی بگونه‌ای فرموله‌بندی شده است که قابلیت ارائه نتایج همزمان مربوط به عملکرد سراسری پایداری زنجیره تامین و همچنین عملکرد هر یک از اهداف پایداری فراهم شود. همچنین عملکرد مدل ارائه شده تحت یک مطالعه موردی برای محصولات یک شرکت داروسازی ایرانی مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج اجرای مدل حاکی از آن است که مدل پیشنهادی اولا قابلیت ارائه مقادیر کارایی در سطوح مورد انتظار را دارد و ثانیا دانش لازم و کافی را در مقایسه میان کارایی پایداری زنجیره تامین و کارایی اهداف پایداری در محصولات کارا و ناکارا ایجاد می‌نماید

کلمات کلیدی: پایداری زنجیره تامین، ارزیابی کارایی، تئوری بازی.

۱-مقدمه

مدیریت زنجیره تامین منحصراً بر هدف اقتصادی متمرکز است در حالیکه، پایداری زنجیره تامین پایدار بر اهداف سه‌گانه اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی بطور همزمان تمرکز دارد. علی رغم تضاد منافع ذاتی میان این اهداف پایداری اما توجه همزمان به آن‌ها نتایج شگفت انگیزی را در بلند مدت برای سازمان‌ها ایجاد می‌نماید. در هدف زیست محیطی سازمان به دنبال کاهش ریسک‌های زیست محیطی و بهبود کارایی تولید از طریق کنترل فرآیندهای مدیریت منابع است، در هدف اجتماعی افزایش ضریب ایمنی، بهبود سلامت فیزیکی و روانی کارکنان و افزایش سازگاری اجتماعی و در هدف اقتصادی افزایش سودآوری و بهبود عملکرد مالی مورد توجه سازمان‌ها است. (Beske-Janssen, Johnson & Schaltegger, 2015)

مساله ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار یک ضرورت در مدیریت زنجیره تامین پایدار بحساب می‌آید اما این مساله به دلایلی دارای پیچیدگی متعددی است که عمده آن ناشی از اولا روابط پیچیده، و متضاد میان اجزا و ثانیا پراکندگی و تعدد معیارها و شاخص‌های عملکردی است (Beske-Janssen, Johnson & Schaltegger, 2015). تضاد منافع ذاتی میان اهداف پایداری یکی از مصادیق ثابت شده از تضاد میان اجزا زنجیره تامین پایدار است و محققان بارها از آن به عنوان یکی از عوامل اساسی تشدید کننده سطح پیچیدگی در این مساله یاد کرده‌اند (Hahn et al, 2015; Beckmann, Hielscher & Pies, 2014). بررسی‌های ما در این مطالعه نشان داد که موضوع موازنه نسبی میان اهداف پایداری به نحو شایسته‌ای در مسئله ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار مورد توجه محققان قرار نگرفته است که یک شکاف مطالعاتی جدی در مطالعات پیشین محسوب می‌شود و این مطالعه یک راه حل مناسب برای پوشش آن ارائه خواهد داد.

محققان تا کنون بارها از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار استفاده نموده‌اند (Mirhedayatian, Azadi & Saen, 2014) . این تکنیک یک روش کمی ناپارامتریک برای محاسبه کارایی است که ترکیب آن با مفاهیم تئوری بازی ابزار قدرتمندی را برای اندازه‌گیری کارایی با امکان درنظرگیری موازنه نسبی میان اجزا یک سیستم را فراهم می‌آورد (Amirkhan, Didehkhani, Khalili-Damghani & Hafezalkotob, 2018).

هدف این پژوهش، ارائه یک مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده و تئوری بازی، برای غلبه بر پیچدگی‌های ناشی از تضاد منافع ذاتی میان اهداف پایداری در مساله ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار است. مدل پیشنهادی توانایی اندازه گیری کارایی پایداری زنجیره تامین و کارایی هر یک از اهداف پایداری را با در نظر گیری موازنه نسبی میان این اهداف را خواهد داشت. برای این منظور در مدل‌سازی موازنه نسبی میان اهداف پایداری در زنجیره تامین از مفاهیم بازی چانه‌زنی نش با سه بازیگر و ترکیب آن با تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است. یکی از مهمترین مزایای مدل پیشنهادی برای مدیران اجرایی ارتقا دانش در دسترس درخصوص میزان کارایی از سطح پایداری زنجیره تامین به سطح کارایی هر یک از اهداف پایداری در زنجیره تامین است.

در ادامه، مقاله بدین شکل سازماندهی شده است؛ در بخش دوم، روش شناسی تحقیق که مشتمل بر مرور ادبیات، مدل ریاضی پیشنهادی و مطالعه موردی می‌باشد، ارائه می‌شود و سپس در بخش سوم، بحث و نتایج مطالعه و در نهایت، در بخش چهارم منابع تحقیق ارائه خواهد شد.

۲- روش شناسی

الف) پیشینه نظری و تجربی

اطمینان از تحقق اهداف از پیش تعیین شده در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی و ارائه طرح های بهبود متناسب، از مهمترین اهداف مساله ارزیابی کارایی پایداری زنجیره تامین است (Fathi, Karimi & Saen, 2022). علی‌رغم اهمیت این موضوع، اما ایجاد یک سیستم ارزیابی کارایی پایداری زنجیره تامین مستلزم غلبه بر عوامل تشدید پیچیدگی‌های این مساله است که مهمترین آن‌ها عبارتند از: اولاً در این مساله، اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی بطور همزمان و در حالی که میان آن‌ها تضاد منافع ذاتی وجود دارد می‌بایست مورد توجه قرار گیرند (Beske-Janssen, Johnson & Schaltegger, 2015) ثانیاً تعدد و پراکندگی شاخص‌های کلیدی عملکرد زنجیره تامین پایدار است و همین امر سبب توسعه مدل‌های مفهومی

متعدد (Tajbakhsh & Hassini, 2018; Narimissa, Kangarani-Farahani & Alizadeh, 2020) که سرآمد آن‌ها مدل گزارشگری جهانی GRI به عنوان مدلی مرجع که شامل راهکارهای پیاده‌سازی و سنجش پایداری در صنایع مختلف می‌باشد (Veleva & Ellenbecker, 2001; Morhardt, Baird & Freeman, 2002)، شده است و ثالثاً محدودیت‌های مدل‌های کمی ارزیابی از حیث قابلیت مدلسازی رفتارهای بازیگران و از حیث قابلیت ارائه نتایج ارزیابی به تفکیک اجزا سیستم است (Qorri, Mujkić & Kraslawski, 2018). با تمرکز بر این موارد ادبیات مساله ارزیابی عملکرد پایداری زنجیره تامین را مرور کردیم و مفروضات هر مطالعه را از حیث اهداف پایداری در نظر گرفته شده، توجه یا عدم توجه به موازنه نسبی میان اهداف پایداری، تکنیک ارزیابی کمی عملکرد و توان مدل ارائه شده برای اندازه گیری مقادیر عملکردی برای پایداری زنجیره تامین و اهداف پایداری را مورد بررسی قرار دادیم که نتایج به شرح جدول شماره (۱) ارائه شده است. همچنین در این جدول ویژگی‌های این مطالعه در مقایسه با مطالعات گذشته که گواهی بر شکاف مطالعاتی موجود در مساله ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار می‌باشد، نیز ارائه شده است.

جدول شماره (۱): مروری بر مطالعات در حوزه ارزیابی عملکرد پایداری زنجیره تامین

ردیف	نویسندگان و سال انتشار	نوآوری تحقیق	اهداف پایداری مورد مطالعه				کارایی مورد ارزیابی	تکنیک ارزیابی	موازنه نسبی مورد مطالعه		
			اقتصادی	اجتماعی	زیست محیطی	پایداری زنجیره تامین	اهداف پایداری		بین اهداف اقتصادی و اجتماعی	بین اهداف اقتصادی و زیست محیطی	بین اهداف اجتماعی و زیست محیطی
۱	Azadi et al. (2015)	ارزیابی عملکرد زنجیره تامین برای انتخاب تامین کننده پایدار	✓	✓	✓	✓	×	DEA	×	×	×
۲	Chitham et al. (2015)	ارزیابی عملکرد زیست محیطی زنجیره تامین در بخش تولید	×	×	✓	×	✓	Hybrid of grey and MCDM	×	×	×
۳	Suresh, Kumar & Jakhar (2015)	اندازه‌گیری عملکرد پایداری زنجیره تامین مبتنی بر موازنه نسبی میان هزینه‌ها و اهداف زیست محیطی	✓	✓	✓	✓	×	SEM, fuzzy AHP, Fuzzy MOLP	×	✓	×
۴	Esfahbodi et al. (2016)	توسعه یک چارچوب یکپارچه برای ارزیابی پایداری زنجیره تامین	✓	×	✓	×	✓	RDT, confirmatory factor analysis	×	✓	×
۵	Haghighi et al. (2016)	توسعه یک مدل ترکیبی ارزیابی کارایی پایداری شبکه‌های زنجیره تامین و کارایی بازیگران شبکه	✓	✓	✓	✓	×	DEA-BSC	×	×	×
۶	Badiezadeh et al. (2017)	ارائه مدلی برای ارزیابی کارایی پایداری زنجیره تامین مبتنی بر ابر داده‌ها	✓	✓	✓	✓	×	double frontier NDEA	×	×	×
۷	Izadikhah et al. (2017)	بکارگیری رویکرد برنامه‌ریزی مقید شده	✓	✓	✓	✓	×	Data Envelopment	×	×	×

		برای ارزیابی پایداری زنجیره تامین						Analysis		
۸	Acquaye et al. (2018)	ارائه یک مدل استوار برای اندازه گیری کارایی محیط زیستی زنجیره تامین	×	✓	×	✓	×	Robust lifecycle analysis	×	×	×
۹	Dumitrascu et al. (2020)	طراحی یک سیستم پشتیبان تصمیم برای اندازه‌گیری کارایی پایداری زنجیره تامین و اجزای آن	✓	×	✓	✓	✓	Neural network	×	×	×
۱۰	Wang et al. (2020)	ارائه مدلی برای ارزیابی پایداری زنجیره‌های تامین در کلاس جهانی	✓	✓	✓	✓	×	NDEA	×	×	×
۱۱	Jomthanachai et al. (2021)	ارائه مدلی برای تدوین استراتژی‌های پایداری متنی بر ارزیابی کارایی پایداری زنجیره تامین	✓	✓	✓	✓	×	Alternative coherent DEA model	×	×	×
۱۲	Tavassoli et al. (2022)	ارزیابی کارایی پایداری شبکه زنجیره تامین برق ایران و اجزای آن بمنظور شناسایی نقاط ضعف و قوت شبکه	✓	✓	✓	✓	×	Fuzzy Network DEA model	×	×	×
	این مطالعه	ارائه مدلی برای ارزیابی پایداری زنجیره تامین با درنظرگیری موازنه نسبی میان اهداف پایداری	✓	✓	✓	✓	✓	Game DEA model	✓	✓	✓

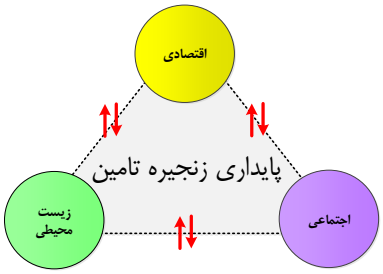
بررسی ادبیات این حوزه حاکی از آن است که محققان تا کنون از تکنیک‌های کمی مختلفی در مساله ارزیابی کارایی پایداری زنجیره تامین استفاده نموده‌اند اما علی‌رغم این تلاش‌ها دو موضوع اساسی در این مساله مغفول مانده و یا کمتر مورد توجه قرار گرفته است. اول اینکه همواره نسبت به موزانه نسبی میان اهداف پایداری در زنجیره تامین پایدار به عنوان یک مولفه نامشهود و تاثیرات آن بر کارایی پایداری زنجیره تامین بی توجهی شده است. دوم اینکه فقدان محاسبه همزمان کارایی پایداری زنجیره تامین و کارایی اهداف پایداری به عنوان یک شکاف اصلی در مطالعات پیشین مشهود است. مدل پیشنهادی ارائه شده در این مطالعه که مبتنی بر یک مدل ترکیب تحلیل پوششی داده و تئوری بازی است مبنای مناسبی برای پوشش این شکاف‌های مطالعاتی ارائه خواهد داد.

روش ترکیبی تحلیل پوششی داده و تئوری بازی برای اولین بار در سال ۲۰۰۶ برای ارزیابی کارایی یک زنجیره تامین دو مرحله‌ای شامل خریدار و فروشنده ارائه شد (Liang et al, 2006). تضاد منافع ذاتی میان اجزا زنجیره تامین تحت رویکردهای همکارانه و غیر همکارانه با استفاده از مدل بازی رهبر پیشرو و بازی همکارانه متمرکز شده مدلسازی شد. این مدل با مرور زمان از مدل‌های تحلیل پوششی داده دو مرحله به سه مرحله‌ای و چندین مرحله‌ای تحت بازی رهبر–پیشرو توسعه یافت که عمدتا برای ساختارهای سری دارای اولویت در تقدم و تاخر کاربرد داشت اما یکی از مشکلات آن چندگانه بودن جواب بهینه در حالت همکارانه بود (Amirkhan, Didehkhani, Khalili-Damghani & Hafezalkotob, 2018). محققان در سال ۲۰۱۱ برای اولین بار در مسئله تجزیه کارایی در تحلیل پوششی داده‌های دو مرحله‌ای، تضاد منافع میان اجزا را با مفاهیم بازی چانه

زنی نش مدلسازی کردند و بدینوسیله نارسایی مربوط به چندگانگی جواب بهینه در حالت رفتار همکارانه اجزا را برطرف نمودند (Amirkhan, Didehkhani, Khalili-Damghani & Hafezalkotob, 2018; Mahmoudi, Emrouznejad & Rasti-Barzoki, 2019) و در این مطالعه نیز از این مدل ترکیبی برای فرموله‌بندی مساله استفاده خواهد شد.

ب) مدل مفهومی

تضاد منافع ذاتی میان اهداف پایداری یکی از اجزا نامشهود اما غیرقابل انکار در مساله زنجیره تامین پایدار است که از آن به عنوان یکی از عوامل اساسی تشدید کننده سطح پیچیدگی مسائل در این حوزه یاد می‌شود (Hahn et al, 2015; Beckmann, Hielscher & Pies,2014). مدل پیشنهادی در این مطالعه مطابق آنچه در شکل شماره (۱) به تصویر درآمده است بر پایه موازنه نسبی میان اهداف پایداری است که در اثر تضاد رفتاری ذاتی میان آن‌ها بوجود می‌آید و لازم است در مساله ارزیابی پایداری زنجیره تامین پایدار در نظر گرفته شوند. برای این منظور رفتار میان اهداف پایداری از طریق مدل چانه زنی نش فرموله بندی شده است. این بدین معنی است که در مدل پیشنهادی اهداف پایداری در بدترین حالت ممکن، منابع لازم برای دستیابی به حداقل کارایی مورد انتظار خود، تحت شرایط همکاری برای حداکثر نمودن کارایی پایداری زنجیره تامین را خواهند داشت.



شکل شماره (۱): چارچوب مفهومی تعاملات اهداف در زنجیره تامین پایدار

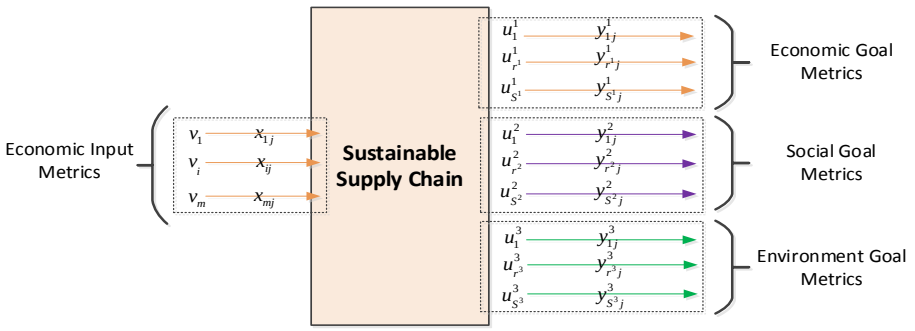
اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مسئله در جدول شماره (۲) تعریف شده است.

جدول شماره (۲): پارامترها و متغیرهای بکارگرفته شده در فرموله بندی مساله

نماد	تعاریف
j	واحد تصمیم‌گیری j^{th} که عضوی از مجموعه $j \in \{1,2,...,n\}$ است
i	متغیر ورودی i^{th} که عضوی از مجموعه $i \in \{1,2,...,m\}$ می‌باشد.
r^1	متغیر خروجی r^{1th} مرتبط با هدف اقتصادی زنجیره تامین پایدار است که عضوی از مجموعه $r^1 \in \{1,2,...,S^1\}$ می‌باشد.
r^2	متغیر خروجی r^{2th} مرتبط با هدف اجتماعی زنجیره تامین پایدار است که عضوی از مجموعه $r^2 \in \{1,2,...,S^2\}$ می‌باشد.
r^3	متغیر خروجی r^{3th} مرتبط با هدف زیست محیطی زنجیره تامین پایدار است که عضوی از مجموعه $r^3 \in \{1,2,...,S^3\}$ می‌باشد.
$u^1_{r^1}, u^2_{r^2}, u^3_{r^3}$	به ترتیب؛ وزن متغیر خروجی r^{1th}، وزن متغیر خروجی r^{2th} و وزن متغیر خروجی r^{3th} است.
$y^1_{r^1 j}, y^2_{r^2 j}, y^3_{r^3 j}$	به ترتیب؛ مقدار شاخص خروجی r^{1th}، مقدار شاخص خروجی r^{2th} و مقدار شاخص خروجی r^{3th} برای واحد تصمیم j^{th} هستند.
v_i, x_{ij}	به ترتیب؛ وزن شاخص ورودی i^{th} و مقدار شاخص ورودی i^{th} برای واحد تصمیم j^{th} است.
θ_o^{SSC}	کارایی زنجیره تامین پایدار مربوط به واحد تصمیم شماره o
θ_o^{Ec}	کارایی هدف اقتصادی مربوط به واحد تصمیم شماره o

θ_o^{En}	کارایی هدف محیط زیستی مربوط به واحد تصمیم شماره o
θ_o^{So}	کارایی هدف اجتماعی مربوط به واحد تصمیم شماره o
$\theta_{\min,o}^{So}, \theta_{\min,o}^{En}, \theta_{\min,o}^{Ec}$	به ترتیب؛ نقطه شکست کارایی برای هدف اقتصادی، هدف محیط زیستی و هدف اجتماعی مربوط به واحد تصمیم شماره o است.

در مدل پیشنهادی مطابق آنچه در دنیای واقعی وجود دارد فرض شده است که ورودی‌های مساله از جنس شاخص‌های اقتصادی و خروجی‌های آن با استفاده از شاخص‌های مربوط به هر یک از اهداف پایداری دسته بندی می‌شوند. بر این اساس، ساختار عمومی مساله در مدل پیشنهادی در شکل شماره (۲) به تصویر درآمده است.



شکل شماره (۲): شبکه عمومی مساله ارزیابی کارایی شبکه زنجیره تامین پایدار در مدل پیشنهادی

تحلیل پوششی داده‌ها در مدل پیشنهادی ورودی محور با بازده به مقیاس ثابت است و تضاد منافع میان اهداف پایداری از بازی چانه زنی نش پیروی می‌کند. هر مسئله چانه‌زنی را می‌توان به صورت بردار $\{N, S, b\}$ تعریف کرد که در آن N تعداد بازیگران، S مجموعهٔ فضای جواب و b نقطه شکست چانه‌زنی است. b میزان کارایی بازیگر در صورت عدم توافق با سایر بازیگران است که عضوی از مجموعه جواب می‌باشد. اگر u_i کارایی بازیکن iام و b_i نقطه شکست چانه زنی آن بازیکن باشد، مسئله دارای یک جواب منحصر بفرد به نام جواب نش است. این جواب با $Max \prod_{i=1}^{N} (u_i - b_i)$ تحت شرط $u_i \geq b_i$ به ازای تمامی بازیکنان برابر است. مجوعه جواب موجه S بسته و محدب است و جواب بایستی چهار ویژگی اساسی شامل: ۱) کارایی پارتو ۲) عدم توجه به پیوند دادن تغییرات ۳) استقلال گزینه‌های نامرتبط و ۴) تقارن را داشته باشد (Mahmoudi, Emrouznejad & Rasti-Barzoki, 2019). مدل پیشنهادی مسئله دارای ۳ بازیگر تحت عنوان اهداف پایداری است و می‌توان آنرا به صورت $\{\{1,2,3\}, S, \{\theta_{\min,o}^{Ec}, \theta_{\min,o}^{So}, \theta_{\min,o}^{En}\}\}$ تعریف کرد. فرموله بندی مساله $\{\{1,2,3\}, S, \{\theta_{\min,o}^{Ec}, \theta_{\min,o}^{So}, \theta_{\min,o}^{En}\}\}$ در مدل شماره ۱ ارائه شده است و سپس شرایط بسته بودن و تحدب مجموعه جواب موجه مساله بررسی شده است. در این مطالعه $\theta_{\min,o}^{Ec}$، $\theta_{\min,o}^{En}$ و $\theta_{\min,o}^{So}$ برابر حداقل ممکن کارایی آن‌ها است که بر اساس ایده مصرف بیشترین منابع ورودی و تولید کمترین میزان خروجی است محاسبه می‌شود (Amirkhan et al., 2018).

$$\max \theta_o^{SSC} = \left(\frac{\sum_{r^1=1}^{S^1} u_{r^1}^1 y_{r^1 o}^1}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}} - \theta_{\min,o}^{Ec}\right) * \left(\frac{\sum_{r^2=1}^{S^2} u_{r^2}^2 y_{r^2 o}^2}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}} - \theta_{\min,o}^{So}\right) * \left(\frac{\sum_{r^3=1}^{S^3} u_{r^3}^3 y_{r^3 o}^3}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} - \theta_{\min,o}^{En}\right) \quad s.t.$$

(مدل ۱)

$$\frac{\sum_{r^1=1}^{s^1} u_{r^1}^{1} y_{r^1 o}^{1}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}} \geq \theta_{\min,o}^{Ec} \quad (۱-۱)$$

$$\frac{\sum_{r^2=1}^{s^2} u_{r^2}^{2} y_{r^2 o}^{2}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}} \geq \theta_{\min,o}^{So} \quad (۱-۲)$$

$$\frac{\sum_{r^3=1}^{s^3} u_{r^3}^{3} y_{r^3 o}^{3}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \geq \theta_{\min,o}^{En} \quad (۱-۳)$$

$$\frac{\sum_{r^1=1}^{s^1} u_{r^1}^{1} y_{r^1 j}^{1}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \leq 1 \;;\; \forall j = 1,\ldots,n \quad (۱-۴)$$

$$\frac{\sum_{r^2=1}^{s^2} u_{r^2}^{2} y_{r^2 j}^{2}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \leq 1 \;;\; \forall j = 1,\ldots,n \quad (۱-۵)$$

$$\frac{\sum_{r^3=1}^{s^3} u_{r^3}^{3} y_{r^3 j}^{3}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \leq 1 \;;\; \forall j = 1,\ldots,n \quad (۱-۶)$$

$$w_{d^2}^{2}, w_{d^3}^{3}, w_{d^4}^{4}, v_i \geq \varepsilon \quad (۱-۷)$$

هدف از (مدل ۱) بیشینه‌سازی کارایی پایداری زنجیره تامین است. در این مدل، محدویت‌های (۱-۱) الی (۱-۳) تضمین‌کننده این هستند که کارایی اهداف پایداری حداقل به اندازه نقطه شکست چانه زنی باشد و محدودیت‌های (۱-۴) الی (۱-۶) تضمین کننده این هستند که کارایی اهداف پایداری کمتر مساوی ۱ است. بر اساس مدل بازی چانه زنی نش پیش از بکارگیری مدل ۲ گزاره را د به شرح ذیل در مدل بررسی کنیم:

گزاره ۱- مجوعه جواب موجه S بسته و محدب است.

اثبات ۱- از آنجاییکه مجموعه جواب موجه S در یک فضای اقلیدسی تعریف شده است و شرط بسته بودن فضای جواب برقرار است. برای اثبات محدب بودن فضای جواب موجه فرض می‌کنیم:

$$(u_1^{1\prime},\ldots,u_{s^1}^{1\prime},u_1^{2\prime},\ldots,u_{s^2}^{2\prime},u_1^{3\prime},\ldots,u_{s^3}^{3\prime},v_1^{1\prime},\ldots,v_m^{1\prime}) \in S$$

$$(u_1^{1''},\ldots,u_{S^1}^{1''},u_1^{2''},\ldots,u_{S^2}^{2''},u_1^{3''},\ldots,u_{S^3}^{3''},v_1'',\ldots,v_m'')\in S$$

بر این اساس و به ازای هر $\lambda\in[0,1]$ داریم:

$$\lambda u_{r^1}^{1'}+(1-\lambda)u_{r^1}^{1''}>0,\ \forall r^1=1,\ldots,S^1$$

$$\lambda u_{r^2}^{2'}+(1-\lambda)u_{r^2}^{2''}>0,\ \forall r^2=1,\ldots,S^2$$

$$\lambda u_{r^3}^{3'}+(1-\lambda)u_{r^3}^{3''}>0,\ \forall r^3=1,\ldots,S^3$$

$$\lambda v_i'+(1-\lambda)v_i''>0,\ \forall i=1,\ldots,m$$

با این مفروضات به ترتیب برای محدویت های مدل شماره ۱ داریم:

$$\sum_{r^1=1}^{S^1}u_{r^1}^1y_{r^1o}^1\geq\theta_{\min,o}^{Ec}\sum_{i=1}^{m}v_ix_{io}\Rightarrow\sum_{r^1=1}^{S^1}\left[\lambda u_{r^1}^{1'}+(1-\lambda)u_{r^1}^{1''}\right]y_{r^1o}^1\geq\theta_{\min,o}^{Ec}\sum_{i=1}^{m}\left[\lambda v_i'+(1-\lambda)v_i''\right]x_{io}$$

$$\sum_{r^2=1}^{S^2}u_{r^2}^2y_{r^2o}^2\geq\theta_{\min,o}^{So}\sum_{i=1}^{m}v_ix_{io}\Rightarrow\sum_{r^2=1}^{S^2}\left[\lambda u_{r^2}^{2'}+(1-\lambda)u_{r^2}^{2''}\right]y_{r^2o}^2\geq\theta_{\min,o}^{So}\sum_{i=1}^{m}\left[\lambda v_i'+(1-\lambda)v_i''\right]x_{io}$$

$$\sum_{r^3=1}^{S^3}u_{r^3}^3y_{r^3o}^3\geq\theta_{\min,o}^{En}\sum_{i=1}^{m}v_ix_{io}\Rightarrow\sum_{r^3=1}^{S^3}\left[\lambda u_{r^3}^{3'}+(1-\lambda)u_{r^3}^{3''}\right]y_{r^3o}^3\geq\theta_{\min,o}^{En}\sum_{i=1}^{m}\left[\lambda v_i'+(1-\lambda)v_i''\right]x_{io}$$

$$\sum_{r^1=1}^{S^1}u_{r^1}^1y_{r^1j}^1=\sum_{r^1=1}^{S^1}\left[\lambda u_{r^1}^{1'}+(1-\lambda)u_{r^1}^{1''}\right]y_{r^1j}^1=\lambda\sum_{r^1=1}^{S^1}u_{r^1}^{1'}y_{r^1j}^1+(1-\lambda)\sum_{r^1=1}^{S^1}u_{r^1}^{1''}y_{r^1j}^1\leq\lambda\sum_{i=1}^{m}v_i'x_{ij}+(1-\lambda)\sum_{i=1}^{m}v_i''x_{ij}=\sum_{i=1}^{m}(\lambda v_i'+(1-\lambda)v_i'')x_{ij}$$

$$\sum_{r^2=1}^{S^2}u_{r^2}^2y_{r^2j}^2=\sum_{r^2=1}^{S^2}\left[\lambda u_{r^2}^{2'}+(1-\lambda)u_{r^2}^{2''}\right]y_{r^2j}^2=\lambda\sum_{r^2=1}^{S^2}u_{r^2}^{2'}y_{r^2j}^2+(1-\lambda)\sum_{r^2=1}^{S^2}u_{r^2}^{2''}y_{r^2j}^2\leq\lambda\sum_{i=1}^{m}v_i'x_{ij}+(1-\lambda)\sum_{i=1}^{m}v_i''x_{ij}=\sum_{i=1}^{m}(\lambda v_i'+(1-\lambda)v_i'')x_{ij}$$

$$\sum_{r^3=1}^{S^3}u_{r^3}^3y_{r^3j}^3=\sum_{r^3=1}^{S^3}\left[\lambda u_{r^3}^{3'}+(1-\lambda)u_{r^3}^{3''}\right]y_{r^3j}^3=\lambda\sum_{r^3=1}^{S^3}u_{r^3}^{3'}y_{r^3j}^3+(1-\lambda)\sum_{r^3=1}^{S^3}u_{r^3}^{3''}y_{r^3j}^3\leq\lambda\sum_{i=1}^{m}v_i'x_{ij}+(1-\lambda)\sum_{i=1}^{m}v_i''x_{ij}=\sum_{i=1}^{m}(\lambda v_i'+(1-\lambda)v_i'')x_{ij}$$

بنابراین به ازای $(r^1=1,\ldots,S^1;r^2=1,\ldots,S^2;r^3=1,\ldots,S^3;i=1,\ldots,m)$ داریم:

$$(\lambda u_{r^1}^{1'}+(1-\lambda)u_{r^1}^{1''},\lambda u_{r^2}^{2'}+(1-\lambda)u_{r^2}^{2''},\lambda u_{r^3}^{3'}+(1-\lambda)u_{r^3}^{3''},\lambda v_i'+(1-\lambda)v_i'')\in S$$

که برابر است با:

$$\lambda(u_1^{1'},\ldots,u_{S^1}^{1'},u_1^{2'},\ldots,u_{S^2}^{2'},u_1^{3'},\ldots,u_{S^3}^{3'},v_1',\ldots,v_m')+(1-\lambda)(u_1^{1''},\ldots,u_{S^1}^{1''},u_1^{2''},\ldots,u_{S^2}^{2''},u_1^{3''},\ldots,u_{S^3}^{3''},v_1'',\ldots,v_m'')\in S$$

در نتیجه مجموعه جواب S یک مجموعه محدب است.

همجنین بمنظور بررسی گزاره دوم ابتدا لازم است مدل شماره ۱ را با استفاده از تغییر متغیرهای $\upsilon_i=tv_i$ و $\mu_{r^1}^1=tu_{r^1}^1$ و $\mu_{r^2}^2=tu_{r^2}^2$ و $\mu_{r^3}^3=tu_{r^3}^3$ ساده‌سازی نماییم. در نتیجه این تغییر متغیر، مدل شماره ۲ که یک مدل غیرخطی و بازنویسی شده مدل شماره ۱ است به شرح ذیل بدست می‌آید.

$$\max\theta_o^{SSC}=(\sum_{r^1=1}^{S^1}\mu_{r^1}^1y_{r^1o}^1-\theta_{\min,o}^{Ec})*(\sum_{r^2=1}^{S^2}\mu_{r^2}^2y_{r^2o}^2-\theta_{\min,o}^{So})*(\sum_{r^3=1}^{S^3}\mu_{r^3}^3y_{r^3o}^3-\theta_{\min,o}^{En})\ \ s.t.$$

(مدل ۲)

$$\sum_{r^1=1}^{S^1}\mu_{r^1}^1y_{r^1j}^1-\sum_{i=1}^{m}\upsilon_ix_{ij}\leq0\ ;\ \forall j=1,\ldots,n$$

(۲-۱)

$$\sum_{r^2=1}^{S^2} \mu_{r^2}^{2} y_{r^2 j}^{2} - \sum_{i=1}^{m} \upsilon_i x_{ij} \le 0 \; ; \; \forall j = 1,\ldots,n$$

(۲-۲)

$$\sum_{r^3=1}^{S^3} \mu_{r^3}^{3} y_{r^3 j}^{3} - \sum_{i=1}^{m} \upsilon_i x_{ij} \le 0 \; ; \; \forall j = 1,\ldots,n$$

(۲-۳)

$$\sum_{r^1=1}^{S^1} \mu_{r^1}^{1} y_{r^1 o}^{1} \ge \theta_{\min,o}^{Ec}$$

(۲-۴)

$$\sum_{r^2=1}^{S^2} \mu_{r^2}^{2} y_{r^2 o}^{2} \ge \theta_{\min,o}^{So}$$

(۲-۵)

$$\sum_{r^3=1}^{S^3} \mu_{r^3}^{3} y_{r^3 o}^{3} \ge \theta_{\min,o}^{En}$$

(۲-۶)

$$\sum_{i=1}^{m} \upsilon_i x_{io} = 1$$

(۲-۷)

$$\mu_{r^1}^{1}, \mu_{r^2}^{2}, \mu_{r^3}^{3}, \upsilon_i \ge \varepsilon$$

(۲-۸)

گزاره ۲: مدل پیشنهادی همواره موجه است و حد بالای آن برابر یک است.

اثبات ۲: جواب دلخواه زیر به روشنی یک جواب موجه برای مدل شماره ۲ است. (Mahmoudi, Emrouznejad & Rasti-Barzoki, 2019)

$$\begin{cases} \upsilon_i = 1/m x_{io} \; ; \mu_{r^1}^{1} = 1/S^2 y_{r^1 o}^{2} \; ; \mu_{r^2}^{2} = 1/S^2 y_{r^2 o}^{2} \; ; \mu_{r^3}^{3} = 1/S^3 y_{r^3 o}^{3} \\ \theta_{\min,o}^{Ec} = \theta_{\min,o}^{So} = \theta_{\min,o}^{En} = 0 \end{cases}$$

با حل مدل شماره (۲) کارایی پایداری زنجیره تامین محاسبه می‌شود و سپس با استفاده از مقادیر بهینه بدست آمده برای متغیرهای تصمیم این مدل (ضرایب مدل تحلیل پوششی داده‌ها) کارایی هدف پایداری اجتماعی از طریق رابطه شماره ۱، کارایی هدف پایداری زیست محیطی از طریق رابطه شماره ۲ و کارایی هدف پایداری اقتصادی از طریق رابطه شماره ۳ به قرار زیر محاسبه می‌شوند.

(رابطه-۱)

$$\theta_o^{So*} = \left(\frac{\sum_{r^2=1}^{S^2} u_{r^2}^{2*} y_{r^2 o}^{2}}{\sum_{i=1}^{m} v_i^{*} x_{io}}\right)$$

$$\theta_o^{En*} = \left(\frac{\sum_{r^3=1}^{S^3} u_{r^3}^{3*} y_{r^3 o}^{3}}{\sum_{i=1}^{m} v_i^{*} x_{ij}}\right) \quad \text{(رابطه۲)}$$

$$\theta_o^{Ec*} = \left(\frac{\sum_{r^1=1}^{S^1} u_{r^1}^{1*} y_{r^1 o}^{1}}{\sum_{i=1}^{m} v_i^{*} x_{io}}\right) \quad \text{(رابطه ۳)}$$

بطور خلاصه برای ارزیابی کارایی پایداری زنجیره تامین پایدار و کارایی اهداف پایداری با بکارگیری مدل پیشنهادی، فرآیند اجرایی اندازه‌گیری کارایی پایداری زنجیره تامین و کارایی هر یک از اهداف پایداری بطور خلاصه در شکل (۳) ارائه شده است.

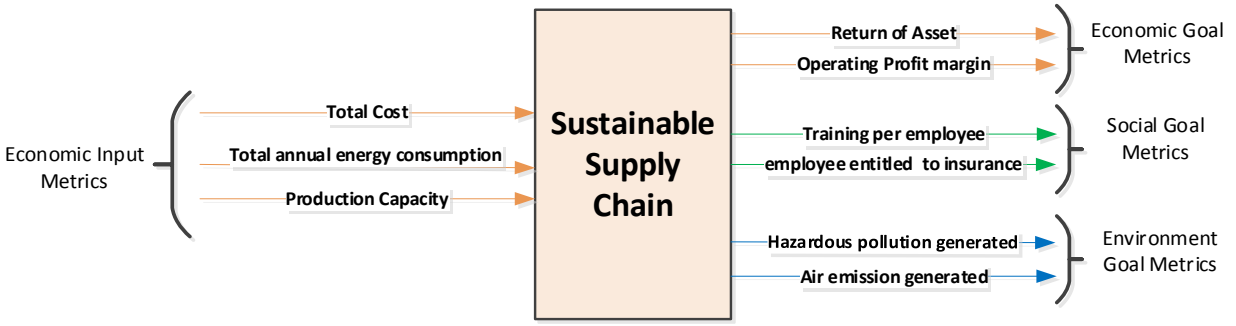
فرآیند ارزیابی کارایی بر اساس مدل پیشنهادی	گام اول- شروع (طرح ریزی)
	گام دوم- شناسایی و انتخاب شاخص‌های پایداری
	گام سوم- دسته‌بندی شاخص‌های پایداری به تفکیک هر یک از اهداف پایداری و تخصیص به ساختار شبکه مطابق شکل ۲
	گام چهارم- جمع آوری داده‌ها در صنعت تحت بررسی
	گام پنجم- بکارگیری مدل پیشنهادی به ترتیب ذیل:
	محاسبه نقاط شکست کارایی در هر یک از اهداف پایداری
	محاسبه کارایی پایداری زنجیره تامین از طریق حل مدل شماره دو
	محاسبه کارایی هر یک از اهداف پایداری از طریق رابط یک، رابطه دو و رابطه سه
	گام ششم- اتمام فرآیند محاسبه اندازه‌گیری کارایی و تحلیل نتایج

شکل شماره (۳): فرآیند اجرایی ارزیابی کارایی پایداری زنجیره تامین و کارایی اهداف پایداری

تاکید بر تحقق اهداف پایداری در صنعت داروسازی از اهمیت بالایی برخوردار است چرا که اقدامات پزشکی و دارویی با کیفیت بالا، ارائه راه حل‌های ارزشمند برای تامین نیازها و انتظارات اجتماعی و کمک به حفاظت از منافع ملی کشورها در حوزه داروهای استراتژیک، همگی از انتظارات ذینفعان این صنعت محسوب می‌شوند. استفاده نادرست از منابع، تولید زباله‌های محیطی یا پسماندهای شیمیایی خطرناک و نارضایتی کارمندان و سایر ذینفعان از دیگر چالش‌های این صنعت به حساب می‌آیند. ایجاد یک روش ارزیابی کارآمد برای اندازه‌گیری کارایی پایداری زنجیره تأمین در این صنعت برای غلبه بر این چالش‌ها یک ضرورت محسوب می‌شود (Jorgensen, 2008). بر این اساس مدل پیشنهادی این مطالعه بمنظور ارزیابی کارایی پایداری زنجیره تامین و کارایی اهداف پایداری در یکی از شرکت‌های داروسازی کشور پیاده‌سازی شد. سبد محصولات این شرکت دارویی بیش از ۵۰ محصول منحصربفرد بدون توجه به دوز محصول است و درصورتیکه دوز بندی محصولات را نیز در نظر بگیریم، سبد محصولات متشکل از ۱۱۵ محصول است. با توجه به محدویت‌های مربوط به تعداد نمونه در مدل‌های تحلیل پوششی داده، با مصاحبه‌های انجام شده در سطح مدیران، در این مطالعه موردی کارایی پایداری زنجیره تامین برای ۳۵ محصول منحصربفرد در سبد محصولات را به عنوان واحدهای تصمیم مدل اندازه‌گیری خواهیم کرد که همگی آن‌ها در مرحله رشد یا بلوغ از چرخه عمر خود قرار دارند. ۵۵٪ از این محصولات انتخاب شده در مرحله رشد از چرخه عمر خود قرار دارند و مابقی در مرحله بلوغ هستند.

در ادامه و برای انتخاب شاخص‌های پایداری از متد گزارشگری جهانی GRI که یک مدل مرجع جهانی برای پیاده سازی و سنجش میزان پایداری در شرکت‌های داروسازی ارائه داده است برای شناسایی شاخص‌ها استفاده شد. GRI شامل دستورالعمل‌هایی است که بیش از ۱۰۰ شاخص معتبر را برای سنجش عملکرد شرکت‌ها در ابعاد زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی پیشنهاد می‌کند (Veleva & Ellenbecker, 2001; Morhardt, Baird & Freeman, 2002). در ادامه از میان شاخص‌های شناسایی شده، شاخص‌های کلیدی با همکاری دپارتمان برنامه‌ریزی شرکت که همگی از خبرگان صنعت

محسوب می‌شوند و با استفاده از روش طوفان فکری بگونه‌ای که همسو با راهبردها و الزامات مورد تاکید نهادهای بالادستی و رگولاتوری صنعت دارو و منطبق بر سیاست‌ها و راهبردهای شرکت در صنعت باشند و البته اطلاعات مورد نیاز آن نیز در دسترس باشد، انتخاب شدند که ساختار مربوط به آن در شکل (۴) به تصویر درآمده است.



شکل شماره (۴): زنجیره تامین پایدار در شرکت داروسازی تحت بررسی

پس از انتخاب شاخص‌های پایداری مطابق شکل شماره (۴)، داده‌های مورد نیاز از طریق سیستم مدیریت منابع سازمان به ازای هر یک از محصولات تحت ارزیابی (واحد تصمیم) جمع آوری شد که بطور خلاصه این مقادیر به انضمام گزارشی آماری آن در جدول شماره (۳) ارائه شده است.

جدول شماره (۳): مقادیر شاخص‌های پایداری انتخاب شده و وضعیت آماری آن در مطالعه موردی

Total Cost	Production Capacity	Total energy consumption	Return of Asset	Operating Profit margin	Training per employee	employee entitled to insurance	Co_2 emission generated	Hazardous pollution generated	واحد تصمیم (محصول)
۱۵۵۱	۹/۸۱	۴۵	۰/۹۱۶	۰/۱۵	۱۱	۳	۳/۲۷	۰/۰۰۱۱	۱
۱۴۳۷	۹/۹۷	۵۰	۰/۴۷۸	۰/۲۶	۲۲	۷	۲/۶۶	۰/۰۰۰۹	۲
۱۲۸۹	۱۰/۰۳	۵۸	۰/۶۴۶	۰/۱۷	۱۳	۷	۲/۹۵	۰/۰۰۱۴	۳
۱۲۴۸	۱۰/۱۴	۵۲	۰/۶۹۱	۰/۱۴	۱۰	۱۱	۲/۴۲	۰/۰۰۱۵	۴
۱۲۱۲	۱۰/۲۲	۵۰	۰/۵۲۵	۰/۱۹	۱۵	۱۱	۲/۴۴	۰/۰۰۲۸	۵
۱۱۷۷	۱۰/۲۱	۵۰	۰/۴۹۶	۰/۱۸	۱۴	۸	۲/۹۷	۰/۰۰۱۳	۶
۱۱۷۱	۱۰/۲	۴۶	۰/۵۲۱	۰/۲	۱۶	۴	۳/۱۸	۰/۰۰۲۵	۷
۱۱۱۵	۹/۹۹	۴۶	۰/۶۸۱	۰/۱۹	۱۵	۸	۳	۰/۰۰۲۲	۸
۱۱۱۰	۹/۹۹	۳۸	۰/۳۹۵	۰/۱۹	۱۵	۱۱	۲/۳۳	۰/۰۰۲۱	۹
۱۰۱۴	۱۰/۰۶	۳۷	۰/۸۹۷	۰/۱۶	۱۲	۱۱	۲/۰۸	۰/۰۰۲۸	۱۰
۱۱۴۵	۱۰/۱۱	۳۴	۰/۷۲۷	۰/۱۶	۱۲	۷	۲/۴۴	۰/۰۰۲۴	۱۱
۹۶۹	۹/۸۷	۲۹	۰/۶۳	۰/۲۱	۱۷	۵	۳/۲۴	۰/۰۰۳۵	۱۲
۷۹۸	۹/۷۵	۳۰	۰/۹۹۱	۰/۱۶	۱۲	۸	۴/۹	۰/۰۰۳۴	۱۳
۹۶۵	۹/۶۲	۴۰	۰/۷۵۱	۰/۲۲	۱۶	۷	۴/۵۸	۰/۰۰۲۷	۱۴
۹۲۱	۹/۴۵	۵۱	۰/۳۸	۰/۱۸	۱۴	۸	۳/۱۷	۰/۰۰۲۵	۱۵
۱۰۰۱	۹/۴۷	۵۰	۰/۶۳۶	۰/۲۳	۱۴	۵	۳/۶۴	۰/۰۰۳۴	۱۶
۹۹۶	۹/۵۲	۴۷	۰/۷۸	۰/۱۷	۱۳	۷	۴/۸	۰/۰۰۲۲	۱۷
۱۰۳۶	۹/۴۹	۴۷	۰/۷۶	۰/۱۵	۱۱	۶	۴/۷۲	۰/۰۰۲۹	۱۸
۱۰۶۳	۹/۴۹	۴۳	۰/۶۲۸	۰/۱۶	۱۲	۶	۴	۰/۰۰۲۶	۱۹
۱۰۴۹	۹/۵۲	۴۶	۰/۶۵	۰/۱۵	۱۱	۹	۳/۵۹	۰/۰۰۲۵	۲۰
۱۰۱۵	۹/۳۳	۳۷	۰/۴۹۹	۰/۲۱	۱۷	۶	۴/۰۴	۰/۰۰۲۷	۲۱
۱۰۷۹	۹/۱	۴۱	۰/۶۰۶	۰/۱۹	۱۵	۴	۳/۸۳	۰/۰۰۲۸	۲۲

۲۳	۰/۰۰۱۸	۲/۹	۷	۱۵	۰/۱۹	۰/۸۲۶	۳۹	۸/۷۷	۱۱۰۳
۲۴	۰/۰۰۲۲	۲/۶۶	۷	۱۴	۰/۱۸	۰/۶۵۲	۳۶	۸/۵۸	۱۰۷۹
۲۵	۰/۰۰۲۱	۲/۵	۸	۹	۰/۱۳	۰/۵۲	۴۸	۸/۳۵	۱۱۷۶
۲۶	۰/۰۰۳۷	۲/۵	۳	۱۳	۰/۲	۰/۷۷	۵۵	۸/۴۶	۱۲۵۰
۲۷	۰/۰۰۱۹	۲/۱۸	۴	۱۳	۰/۱۷	۰/۸۰۴	۵۶	۸/۶۵	۱۲۹۷
۲۸	۰/۰۰۳۲	۱/۸۵	۵	۱۴	۰/۱۸	۰/۷۶	۵۳	۸/۷۱	۱۰۹۹
۲۹	۰/۰۰۲۴	۲/۰۳	۹	۱۴	۰/۱۸	۰/۹۰۶	۵۲	۸/۶۸	۱۲۱۴
۳۰	۰/۰۰۲۴	۲/۳۹	۸	۱۴	۰/۱۸	۰/۸۹	۵۳	۸/۵۲	۱۱۴۵
۳۱	۰/۰۰۲۸	۳/۱۹	۳	۱۶	۰/۲۱	۰/۴۷۶	۵۲	۸/۲۸	۱۱۳۹
۳۲	۰/۰۰۴۰	۲/۷۹	۶	۱۱	۰/۱۵	۰/۸۷	۵۶	۸/۰۹	۱۲۲۶
۳۳	۰/۰۰۲۷	۲/۲	۷	۱۵	۰/۱۹	۰/۷۹	۵۱	۷/۹۲	۱۱۸۶
۳۴	۰/۰۰۲۵	۳/۲۲	۵	۱۱	۰/۱۵	۰/۶۵۶	۴۸	۷/۹۲	۱۲۴۴
۳۵	۰/۰۰۴۳	۳/۴۲	۱۲	۱۳	۰/۲	۰/۷۵۶	۴۲	۸/۰۶	۱۲۱۴
میانگین	۰/۰۰۲	۳/۰۸۸	۶/۹۴۲	۱۳/۶۸۵	۰/۱۸	۰/۶۸۴	۴۵/۹۴۲	۹/۲۶۶	۱۱۳۵/۲
میانه	۰/۰۰۲	۲/۹۷	۷	۱۴	۰/۱۸	۰/۶۸۱	۴۷	۹/۴۹	۱۱۳۹
انحراف معیار	۰/۰۰۰۷	۰/۸۲۲	۲/۴۱۲	۲/۴۴۶	۰/۰۲۷	۰/۱۵۶	۷/۴۸۷	۰/۷۵۷	۱۴۳/۵
کمینه	۰/۰۰۰۹	۱/۸۵	۳	۹	۰/۱۳	۰/۳۸	۲۹	۷/۹۲	۷۹۸
بیشینه	۰/۰۰۴	۴/۹	۱۲	۲۲	۰/۲۶	۰/۹۹۱	۵۸	۱۰/۲۲	۱۵۵۱
ضریب تغییرات	۰/۳۰۵	۰/۲۶۶	۰/۳۴۷	۰/۱۷۸	۰/۱۵۱	۰/۲۲۸	۰/۱۶۲	۰/۰۸۱	۰/۱۲۶

در این مطالعه شاخص‌های محیط زیستی شامل آلودگی هوا، آلودگی خطرناک تولید شده از نوع خروجی‌های نامطلوب زنجیره تامین می‌باشند و برای رفع این مشکل، از مقادیر معکوس آن‌ها در مدل پیشنهادی استفاده می‌شود. در ادامه برای محاسبه مقادیر کارایی ابتدا با استفاده از مقادیر شاخص‌های کلیدی منتخب نقاط شکست چانه زنی به ازای هر هدف پایداری محاسبه شده و پس از آن کارایی زنجیره تامین پایدار را با استفاده از مدل ریاضی پیشنهادی (مدل ۲) که در نرم افزار لینگو ۱۷ پیاده‌سازی شد را محاسبه کردیم. با حل مدل و با بکارگیری مقادیر بهینه ضرایب در رابطه ۱، رابطه ۲ و رابطه ۳ کارایی اهداف پایداری نیز در هر بار اجرای مدل محاسبه شد و نتایج کسب شده از اجرای مدل پیشنهادی در جدول شماره (۴) گزارش شده است. بر اساس نتایج کسب شده تنها یک محصول (واحد تصمیم ۳۵) کارای پایداری زنجیره تامین است. اما برای شناسایی عوامل ناکارایی در پایداری نیاز خواهیم داشت تا در ارتباط با میزان کارایی در اهداف پایداری مربوط به محصولات ناکارای پایداری اطلاعاتی در دست داشته باشیم. بنابراین این مطالعه به مدیران کمک می‌کند تا ضمن شناسایی عوامل ناکارایی، طرح‌های بهبود دقیق‌تری را ارائه دهند. برای تشریح دقیق تر این موضوع در بخش بعد نتایج کسب شده را بررسی و مصادیق مدیریتی را ارائه خواهیم داد.

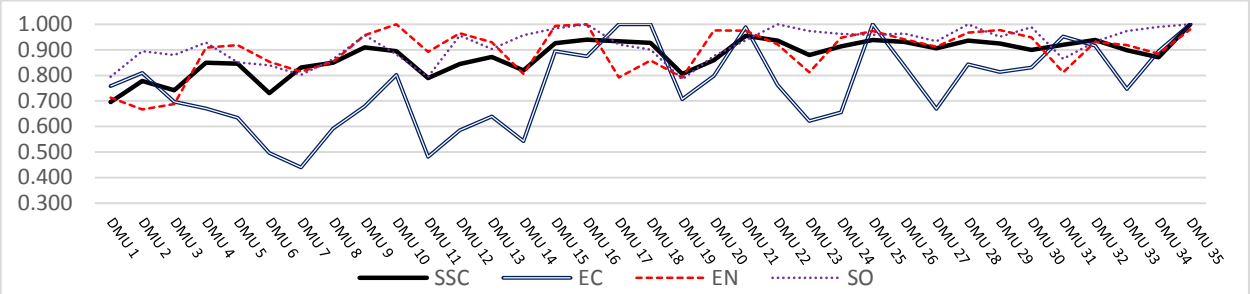
جدول شماره (۴): نتایج اجرای مدل پیشنهادی در مطالعه موردی

واحد تصمیم (محصول)	کارایی سراسری پایداری θ_o^{SSC}	کارایی اجتماعی θ_o^{So}	کارایی محیط زیستی θ_o^{En}	کارایی اقتصادی θ_o^{Ec}
۱	۰/۶۹۵	۰/۷۹	۰/۷۱	۰/۷۶
۲	۰/۷۷۸	۰/۸۹	۰/۶۷	۰/۸۱
۳	۰/۷۴۲	۰/۸۸	۰/۶۹	۰/۷۰
۴	۰/۸۴۹	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۶۷
۵	۰/۸۴۶	۰/۸۵	۰/۹۲	۰/۶۳
۶	۰/۷۳۰	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۵۰

۷	۰/۸۳۱	۰/۸۰	۰/۸۱	۰/۴۴
۸	۰/۸۴۹	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۵۹
۹	۰/۹۰۹	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۸
۱۰	۰/۸۹۵	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۸۰
۱۱	۰/۷۹۰	۰/۷۹	۰/۸۹	۰/۴۸
۱۲	۰/۸۴۴	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۵۹
۱۳	۰/۸۷۲	۰/۹۰	۰/۹۳	۰/۶۴
۱۴	۰/۸۲۰	۰/۹۶	۰/۸۱	۰/۵۴
۱۵	۰/۹۲۶	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۰
۱۶	۰/۹۴۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۸۸
۱۷	۰/۹۳۳	۰/۹۲	۰/۷۹	۱/۰۰
۱۸	۰/۹۲۸	۰/۹۰	۰/۸۶	۱/۰۰
۱۹	۰/۸۰۶	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۷۱
۲۰	۰/۸۶۰	۰/۸۸	۰/۹۸	۰/۸۰
۲۱	۰/۹۵۵	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۹
۲۲	۰/۹۳۶	۱/۰۰	۰/۹۲	۰/۷۶
۲۳	۰/۸۸۰	۰/۹۷	۰/۸۱	۰/۶۲
۲۴	۰/۹۱۳	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۶۶
۲۵	۰/۹۳۸	۰/۹۶	۰/۹۷	۱/۰۰
۲۶	۰/۹۳۱	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۸۴
۲۷	۰/۹۰۶	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۶۷
۲۸	۰/۹۳۶	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۸۴
۲۹	۰/۹۲۵	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۸۱
۳۰	۰/۹۰۰	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۸۳
۳۱	۰/۹۲۰	۰/۸۶	۰/۸۱	۰/۹۵
۳۲	۰/۹۳۹	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۲
۳۳	۰/۸۹۹	۰/۹۷	۰/۹۲	۰/۷۵
۳۴	۰/۸۷۱	۰/۹۹	۰/۸۸	۰/۸۹
۳۵	۱/۰۰۰	۱/۰۰	۰/۹۸	۱/۰۰

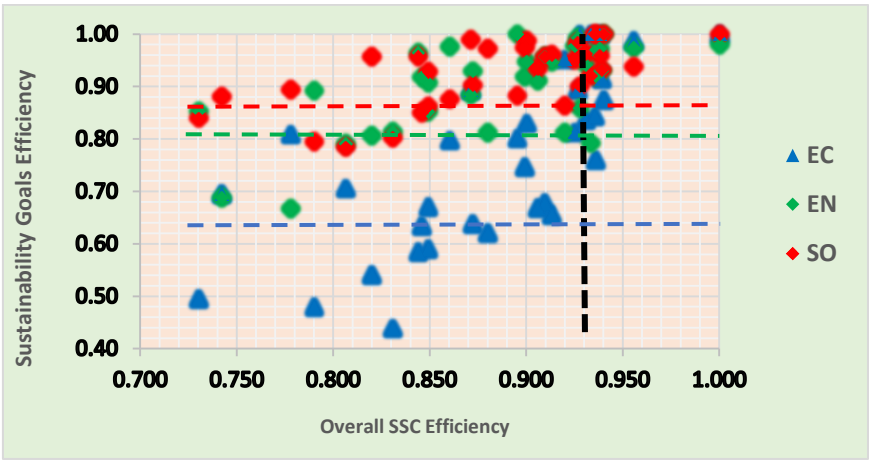
۳- نتایج و بحث

آگاهی از عوامل ناکارایی به مدیران در ارائه طرح‌های بهبود کارآمد کمک قابل توجهی خواهد کرد. کارایی زنجیره تامین پایدار در ارتباط مستقیم با کارایی اهداف پایداری است. مدل پیشنهادی در این مطالعه این شرایط را برای مدیران شرکت داروسازی تحت بررسی فراهم آورد. مقایسه کارایی زنجیره تامین پایدار و کارایی اهداف پایداری به ازای هر محصول در شکل شماره (۵) به تصویر درآورده است. نکته کلی و مهم در این تصویر، به این موضوع دلالت دارد که هر زمان میزان کارایی اهداف پایداری بطور همزمان در نزدیکی مرز کارایی قرار داشته‌اند، کارایی زنجیره تامین پایدار متاثر از آن‌ها در شرایط نسبتا مطلوبی قرار داشته است.



شکل شماره (۵): زنجیره تامین پایدار در شرکت داروسازی تحت بررسی

همچنین برای اینکه بتوانیم نمایش دقیق‌تری از مقایسه کارایی زنجیره تامین در برابر کارایی اهداف پایداری در هر واحد تصمیم و مقایسه آن‌ها با میانگین هر یک داشته باشیم شکل شماره (۶) ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که به ازای ۳۵ محصول تحت بررسی، ابتدا ناکارایی هدف اقتصادی با میانگین ۰/۷۶۱ دوم ناکارایی هدف محیط زیستی با میانگین ۰/۸۹۴ و در آخر ناکاریی هدف اجتماعی با میانگین ۰/۹۲ به ترتیب بیشترین تاثیر را در عدم کارایی زنجیره تامین پایدار برای واحدهای تصمیم تحت بررسی داشته‌اند.



شکل (۶): شکاف میان کارایی زنجیره تامین پایدار و کارایی اهداف پایداری به ازای هر محصول

و بر اساس نتایج کسب شده از اجرای مدل پیشنهادی، بطور مشخص یافته‌های تحقیق و مصادیق مدیریتی این مطالعه عبارتند از:

- قبل از اجرای مدل پیشنهادی، برای یک محصول با زنجیره تامین پایدار کارا انتظار داشتیم اهداف پایداری مربوط به آن نیز در شرایط کارا باشند درصورتیکه نتایج اجرای مدل در محصول شماره ۳۵ به یک مثال نقض آشکار دلالت دارد. به عبارت دیگر نتایج حاکی از آن است که کارا بودن زنجیره تامین پایدار برای یک محصول، ضامن کارا بودن اهداف پایداری در آن محصول نیست.
- بر اساس مصاحبه‌های انجام شده با مدیران شرکت، برای تحلیل عوامل ریشه‌ای ضعف کارایی اقتصادی در اکثر محصولات، مهمترین عامل اجرای طرح های هزینه‌بر برای رفع عدم انطباق‌های محیط زیستی بوده است که جز الزامات جدید ابلاغی به شرکت‌های دارویی ایرانی است که از طرف سازمان غذا و دارو که یکی از دپارتمان‌های وزارت بهداشت و درمان ایران است.
- الزامی برای بزرگتر بودن کارایی زنجیره تامین پایدار از مینیمم کارایی اهداف پایداری در یک محصول منحصربفرد وجود ندارد. بررسی و مقایسه کارایی برای محصولات واحد تصمیم ۱، واحد تصمیم ۲۵ و واحد تصمیم ۳۴ به این موضوع دلالت دارد.

- الزامی برای بزرگتر یا کوچکتر بودن کارایی زنجیره تامین پایدار از میانگین کارایی اهداف پایداری در یک محصول منحصربفرد وجود ندارد. مقایسه کارایی زنجیره تامین پایدار و میانگین کارایی اهداف پایداری در محصولات واحد تصمیم ۶، واحد تصمیم ۱۰ و واحد تصمیم ۲۸ حاکی از آن است که امکان تساوی این مقادیر نیز وجود دارد.
- واحد تصمیم ۱۷، واحد تصمیم ۱۸ و واحد تصمیم ۲۵ در حالی زنجیره تامین پایدار آن‌ها ناکارا است که در هدف اقتصادی کارا هستند بنابراین عامل ناکارایی زنجیره تامین پایدار ناکارایی در اهداف اجتماعی و محیط زیستی است. با بررسی‌های بعمل آمده برای اجرای طرح های بهبودی که تاثیرات نامطلوب بر شاخص‌های اقتصادی نداشته باشد مدیریت شرکت تصمیم گرفت شاخص آموزش به ازای هر کارمند را با تمرکز بر منابع داخلی شرکت و از طریق برگزاری جلسات آموزشی که کارکنان هر بخش، خود محور مطالعه موضوعات مرتبط با محصول و ارائه کننده در جلسه باشند افزایش دهد. همانطور که گفته شد شرکت اخیرا طرح‌های مهمی را جهت رفع عدم انطباق‌های محیط زیستی تولید از طریق شرکت مشاور انجام داده است که این طرح‌ها در دوره گارانتی می‌باشند. بنابراین با بررسی‌های بعمل آمده مدیریت شرکت به این نتیجه رسید که این موارد در شرح خدمات مشاور طرح است لذا برای بررسی دقیق‌تر یک کمیته فنی با ریاست خود و عضویت دپارتمان‌های مرتبط در شرکت و مشاور طرح تشکیل داد که هدف آن ارائه راهکارهای نرم‌افزاری با کمترین هزینه ممکن برای کاهش آلودگی خطرناک ایجاد شده و آلایندگی هوایی تولید شده است.

همانطور که اشاره شد، زنجیره تامین پایدار رویکردی است که با تمرکز همزمان بر اهداف اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی به سازمان برای حفظ و ارتقا مزیت‌های رقابتی خود در بلند مدت کمک می‌کند اما مانند هر رویکرد مدیریتی دیگری برای اطمینان از استقرار صحیح آن نیازمند یک سیستم اندازه‌گیری عملکرد هستیم. بررسی نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در این مطالعه به واسطه اینکه قابلیت اندازه گیری همزمان کارایی زنجیره تامین پایدار و کارایی اهداف پایداری را دارد نسبت به مدل‌های پیشین ارزیابی عملکرد شبکه زنجیره تامین پایدار دانش عمیق‌تری را از واقعیت‌های عملکردی در زنجیره تامین ارائه می‌دهد. به عبارت دیگر مدل پیشنهادی کمک می‌کند تا سطح آگاهی از واقعیت‌های کارایی زنجیره تامین پایدار افزایش یابد و سپس تصمیمات مطمئن تری را برای کاهش انحراف از مرز کارا اتخاذ نموده و برنامه‌های بهبود دقیق‌تری را تدوین نمایند. بدون شک رسیدن به این حقایق بدون غلبه بر تضاد منافع ذاتی میان اهداف پایداری و محاسبه همزمان کارایی‌ها امکان پذیر نبود. به عبارت دیگر این مطالعه به مدیران کمک می‌کند تا به طرز دقیق‌تری نقاط ضعف و قوت در زنجیره تامین پایدار را شناسایی نمایند و با درنظر گرفتن تضاد رفتاری ذاتی میان اهداف پایدار طرح های بهبود را تعریف نمایند و این بارزترین مصداق مدیریتی است که مدل پیشنهادی در این مطالعه ارائه داده است. مدل پیشنهادی در این مطالعه قابلیت در نظرگیری سایر پارادایم‌های زنجیره تامین نظیر ارزیابی کارایی تاب آوری زنجیره تامین را نیز دارا می‌باشد که می‌تواند در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرد.

٤-منابع

1. Acquaye, A., Ibn-Mohammed, T., Genovese, A., Afrifa, G. A., Yamoah, F. A., & Oppon, E. (2018). A quantitative model for environmentally sustainable supply chain performance measurement. *European Journal of Operational Research*, 269(1), 188-205.
2. Amirkhan, M., Didehkhani, H., Khalili-Damghani, K., & Hafezalkotob, A. (2018). Measuring performance of a three-stage network structure using data envelopment analysis and Nash bargaining game: a supply chain application. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 17(05), 1429-1467.
3. Badiezadeh, T., Saen, R. F., & Samavati, T. (2018). Assessing sustainability of supply chains by double frontier network DEA: A big data approach. *Computers & Operations Research*, 98, 284-290.
4. Beckmann, M., Hielscher, S., & Pies, I. (2014). Commitment strategies for sustainability: How business firms can transform trade-offs into win–win outcomes. *Business Strategy and the Environment*, 23(1), 18-37.

5. Beske-Janssen, P., Johnson, M. P., & Schaltegger, S. (2015). 20 years of performance measurement in sustainable supply chain management–what has been achieved? *Supply chain management: An international Journal*, 20, 664-680.
6. Chithambaranathan, P., Subramanian, N., Gunasekaran, A., & Palaniappan, P. K. (2015). Service supply chain environmental performance evaluation using grey based hybrid MCDM approach. *International Journal of Production Economics*, 166, 163-176.
7. Dumitrascu, O., Dumitrascu, M., & Dobrotă, D. (2020). Performance evaluation for a sustainable supply chain management system in the automotive industry using artificial intelligence. *Processes*, 8(11), 1384.
8. Esfahbodi, A., Zhang, Y., & Watson, G. (2016). Sustainable supply chain management in emerging economies: Trade-offs between environmental and cost performance. *International Journal of Production Economics*, 181, 350-366.
9. Fathi, A., Karimi, B., & Saen, R. F. (2022). Sustainability assessment of supply chains by a novel robust two-stage network DEA model: a case study in the transport industry. *Soft Computing*, 1-18.
10. Haghighi, S. M., Torabi, S. A., & Ghasemi, R. (2016). An integrated approach for performance evaluation in sustainable supply chain networks (with a case study). *Journal of cleaner production*, 137, 579-597.
11. Hahn, T., Pinkse, J., Preuss, L., & Figge, F. (2015). Tensions in corporate sustainability: Towards an integrative framework. *Journal of business ethics*, 127(2), 297-316.
12. Izadikhah, M., & Saen, R. F. (2018). Assessing sustainability of supply chains by chance-constrained two-stage DEA model in the presence of undesirable factors. *Computers & Operations Research*, 100, 343-367.
13. Jakhar, S. K. (2015). Performance evaluation and a flow allocation decision model for a sustainable supply chain of an apparel industry. *Journal of Cleaner Production*, 87, 391-413.
14. Jomthanachai, S., Wong, W. P., & Lim, C. P. (2021). A Coherent Data Envelopment Analysis to Evaluate the Efficiency of Sustainable Supply Chains. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
15. Jørgensen, T. H. (2008). Towards more sustainable management systems: through life cycle management and integration. *Journal of cleaner production*, 16(10), 1071-1080.
16. Liang, L., Yang, F., Cook, W. D., & Zhu, J. (2006). DEA models for supply chain efficiency evaluation. *Annals of operations research*, 145(1), 35-49.
17. Mahmoudi, R., Emrouznejad, A., & Rasti-Barzoki, M. (2019). A bargaining game model for performance assessment in network DEA considering sub-networks: a real case study in banking. *Neural Computing and Applications*, 31(10), 6429-6447.
18. 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.
19. Morhardt, J. E., Baird, S., & Freeman, K. (2002). Scoring corporate environmental and sustainability reports using GRI 2000, ISO 14031 and other criteria. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 9(4), 215-233.
20. Narimissa, O., Kangarani-Farahani, A., & Molla-Alizadeh-Zavardehi, S. (2020). Evaluation of sustainable supply chain management performance: Indicators. *Sustainable Development*, 28(1), 118-131.
21. Qorri, A., Mujkić, Z., & Kraslawski, A. (2018). A conceptual framework for measuring sustainability performance of supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 189, 570-584.
22. Tajbakhsh, A., & Hassini, E. (2018). Evaluating sustainability performance in fossil-fuel

power plants using a two-stage data envelopment analysis. *Energy Economics*, 74, 154-178.
23. Tavassoli, M., Ketabi, S., & Ghandehari, M. (2022). A novel fuzzy network DEA model to evaluate efficiency of Iran's electricity distribution network with sustainability considerations. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102269.
24. Veleva, V., & Ellenbecker, M. (2001). Indicators of sustainable production: framework and methodology. *Journal of cleaner production*, 9(6), 519-549.
25. Wang, H., Pan, C., Wang, Q., & Zhou, P. (2020). Assessing sustainability performance of global supply chains: An input-output modeling approach. *European journal of operational research*, 285(1), 393-404.

Proposed a model to evaluate supply chains sustainability efficiency based on trade-offs among sustainability goals using game theory

Mohsen Yaghoubizadeh Vanini
PhD candidate, Department of Industrial Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University
Reza Yousefi Zenouz (Corresponding Author)
Assistant Professor, Information Technology and Operations Management, Kharazmi University
Email: Reza.Zenouz@khu.ac.ir
Amir-Reza Abtahi
Assistant Professor, Information Technology and Operations Management, Kharazmi University
Kaveh Khalili-Damghani
Associate Professor, Department of Industrial Engineering, South-Tehran Branch, Islamic Azad University

Abstract
Supply chain sustainability is necessary for businesses today, so organizations pay attention to social and environmental goals in addition to economic goals. Therefore, to ensure the realization of these goals, measuring the sustainability efficiency of the supply chain is considered inevitable. The problem of assessing the performance of supply chain sustainability, on the one hand, is affected by the inherent conflicts of interest among sustainability goals, which increase the complexity of the problem, and on the other hand, it should be configured in a way that can simultaneously provide sufficient knowledge of the efficiency of overall supply chain sustainability and sustainability goals. In this study, a combined mathematical model of data envelopment analysis and game theory is presented to evaluate the sustainability efficiency of the supply chain and the efficiency of sustainability goals by considering the trade-offs among sustainability goals. The trade-offs among sustainability goals are formulated using the Nash bargaining game in such a way that the ability to provide simultaneous results is related to the overall efficiency of supply chain sustainability and the efficiency of each sustainability goal. The proposed model was evaluated under a case study for appraising the efficiency of supply chain sustainability of an Iranian pharmaceutical company. The results of the model implementation indicate that the proposed model is firstly capable of simultaneously providing efficiency values of supply chain sustainability and each sustainability goal, and secondly, it provides the necessary and sufficient knowledge in comparison of these values for efficient and inefficient products.
Keywords: supply chain sustainability, efficiency evaluation, game theory.