مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال پانزدهم، شماره چهارم (پیاپی ۵۹)، زمستان ۹۷، ص ص ۱۴۹-۱۲۱
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی جهت طراحی زنجیره‌تامین پایدار: یک مطالعه تطبیقی

مجتبی آقاجانی[۱]، عبدالحمید صفایی قادیکلایی[۲*]، حسنعلی آقاجانی[۲]، محمد ولی پور خطیر[۳]

۱- دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات، دانشگاه مازندران، گروه مدیریت صنعتی، بابلسر، ایران
۲- استاد، دانشگاه مازندران، گروه مدیریت صنعتی، بابلسر، ایران
۳- استادیار، دانشگاه مازندران، گروه مدیریت صنعتی، بابلسر، ایران

رسید مقاله: ۲۱ فروردین ۹۷
پذیرش مقاله: ۴ آبان ۹۷

چکیده

در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی برای مساله طراحی شبکه زنجیره‌تامین پایدار چند کالایی، چند دوره‌ای (شامل سه بخش خرید، تولید و توزیع) تحت شرایط رقابت و عدم قطعیت ارایه می‌گردد. سنجه‌های پایداری با استفاده از تحقیقات انجام شده و همچنین مدل SCOR، در هریک از ابعاد پایداری استخراج شده و سپس با استفاده از روش دلفی بومی‌سازی می‌گردد. مدل فازی به‌دست آمده با روش خمینز به مدل قطعی معادل تبدیل می‌گردد. رویکرد حل مدل بر مبنای مدل سود سه‌گانه (TBL Model) و مدل آشیانه‌ای (Nested Model) انجام و با توجه به اینکه هر مدل ویژگی-های خاص مربوط به خود را دارد برای تعیین روابط بین شاخص‌ها و میزان اهمیت هر شاخص و اعمال آن در مدل به ترتیب از روش DANP و DEMATEL استفاده می‌گردد. در ادامه برای نشان دادن کارایی مدل و رویکرد حل، یک مثال واقعی در صنعت فرآورده‌های نسوز ارایه و در نهایت نتایج به‌دست آمده بر مبنای دو مدل مورد تجزیه و تحلیل و مقایسه قرار گرفته و پیشنهادات لازم ارایه می‌گردد.

کلمات کلیدی: مدل سود سه‌گانه، مدل آشیانه‌ای، شرایط رقابت، عدم قطعیت، مدل SCOR، روش دنپ، روش دیمتل.

۱ مقدمه

زنجیرهٔتأمین پایدار، مدیریت جریان مواد، اطلاعات و سرمایه و همچنین همکاری بین شرکت‌ها در طول زنجیرهٔ تأمین همراه با یکپارچه‌سازی اهداف از تمام ابعاد سه گانهٔ توسعهٔ پایدار (اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی) را که برگرفته از نیازهای مشتریان و ذی‌نفعان است، مدنظر قرار می‌دهد. در زنجیره‌های‌تأمین پایدار، این اعضا هستند که معیارهای اجتماعی و زیست محیطی را به کار می‌گیرند تا بتوانند در طول زنجیرهٔ تأمین باقی بمانند؛ در عین حال، انتظار می‌رود رقابت‌مندی از طریق پاسخگویی به نیازمندی‌های مشتری و معیارهای اقتصادی مرتبط، حفظ

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: ab.safaei@umz.ac.ir

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

شود[۱]. مدیریت زنجیره‌تامین پایدار شیوه‌های مسئولیت‌پذیری شرکتی را اجرا می‌کند و در عملکرد لجستیک و استفاده از منابع با در نظر گرفتن سه بعد پایداری که همان اهداف اقتصادی، اجتماعی و محیطی است، به کارایی بالاتری دست می‌یابد[۴-۲].

سازمان‌ها به سمت پایداری در زنجیره‌تامین حرکت کرده و معیارهای جدیدی را در عملیات خود مدنظر قرار می‌دهند. این معیارها علاوه بر الزامات سودآوری شرکت، مسایل اجتماعی و زیست محیطی را نیز در نظر گرفته، اما بسیاری از شرکت‌ها و سازمان‌ها فاقد دیدی جامع پیرامون مسایل مرتبط با پایداری و معیارهایی هستند که بتواند آن‌ها را مورد سنجش قرار دهد. کریستوفر[1] در مقاله خود این‌طور بیان می‌کند که رقابت واقعی بین شرکت‌ها نیست؛ بلکه بین زنجیره‌هاست[۵]. در نتیجه مدیریت و عملکرد مناسب زنجیره‌تامین، بیش از پیش به عنوان عامل حیاتی در دستیابی به مزیت‌های رقابتی شرکت‌ها شناسایی می‌شود[۶].

در حال حاضر هنوز تعداد محدودی سازمان وجود دارد که پایداری عملیات و فرایند را ضمن جنبه اقتصادی با جنبه‌های محیطی و اجتماعی که همان خط سه‌گانه سود هستند در نظر می‌گیرند. در ابتدا جنبه‌های اقتصادی پایداری در مقالات مرتبط مورد تاکید بودند. مفهوم پایداری در مدیریت زنجیره‌تامین پایدار به تازگی با تمرکز روی بخش‌های محیطی و اجتماعی توسعه پیدا کرده‌است[۷]. برخی مقالات با مرور موضوعات در این خصوص نیز منتشر شده‌است[۱۰-۸].

ماهیت پیچیده و پویای زنجیره‌تامین درجه بالایی از عدم قطعیت و ریسک را بر تصمیمات برنامه‌ریزی زنجیره‌تامین تحمیل می‌کند و به‌گونه‌ای قابل توجه بر عملکرد کل زنجیره اثر می‌گذارد. پارامترهای مختلفی از مساله طراحی شبکه زنجیره‌تامین از جمله هزینه‌ها، تقاضا و عرضه ماهیت نامطمئن دارند و زنجیره‌تامین می‌تواند تحت تاثیر مسایل مختلفی قرار گیرد. هدف از طراحی شبکه زنجیره‌تامین تحت شرایط عدم قطعیت، دستیابی به یک ساختاری است که بتواند تحت هر فهم ممکن از پارامترهای نامطمئن، به‌خوبی عمل نماید[۱۲-۱۱].

هدف اصلی تحقیق حاضر طراحی یک مدل زنجیره‌تامین پایدار می‌باشد که ضمن در نظر گرفتن شرایط رقابت و عدم قطعیت، شرایط پایداری را نیز با توجه به ابعاد آن و همچنین تعامل بین آن‌ها به‌طور کامل در نظر بگیرد. برای مدل سازی ضمن استفاده از دو مدل پایداری، از تکنیک‌های تحقیق در عملیات نیز که نقش کلیدی در پشتیبانی از فعالیت های زنجیره‌تامین پایدار بازی می‌کنند[۱۳]، جهت قسمت‌ها، سطوح و ابعاد زنجیره‌تامین استفاده خواهد شد. علاوه بر ویژگی‌های فوق چند کالایی، چند سطحی، چند دوره‌ای و چند هدفه بودن از مهم-ترین ویژگی‌های مسایل زنجیره‌تامین واقعی است که در این تحقیق گنجانده شده است. طراحی این مدل شرایط ارزیابی پایداری را نیز به راحتی میسر می‌نماید. اکثر تحقیقات انجام شده در خصوص زنجیره‌تامین پایدار فقط به یک بعد از ابعاد پایداری توجه کرده و یکی از شرایط رقابت یا عدم قطعیت را مورد مطالعه قرار داده‌اند که به برخی از آن ها در بخش ادبیات تحقیق اشاره شده است. این تحقیق ضمن در نظر گرفتن سه بعد پایداری با

[1]Christopher

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

ویژگی‌های مدل سود سه‌گانه و آشیانه‌ای و مقایسه آن‌ها شرایط رقابت و عدم قطعیت را توامان مورد توجه قرار داده و در نظر دارد یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی جامع با ویژگی‌های اشاره شده ارایه نماید.

ادامه این مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است. در بخش مرور ادبیات تحقیق در ابتدا مدل‌های پایداری موجود در ادبیات تحقیق بررسی و بیان می‌گردد. سپس رویکردهای رقابت‌پذیری و عدم قطعیت در زنجیره‌تامین بیان می‌گردد. در ادامه مدل تحقیق ارایه شده و ضمن بیان مساله، رویکرد حل مساله تشریح شده و برای بررسی اعتبار وکارایی مدل ، یک مثال واقعی مطرح و با روش ارایه شده حل می‌گردد. در بخش چهارم نتایج حل مدل ارایه شده و در نهایت در بخش پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات بیان می‌گردد.

۲ مرور ادبیات تحقیق

در این بخش مدل‌های موجود پایداری ارایه و در ادامه رویکردهای رقابت‌پذیری و عدم اطمینان موجود در ادبیات تحقیق مورد بررسی و به طور خلاصه ارایه می‌گردد.

۲-۱ مدل‌های پایداری

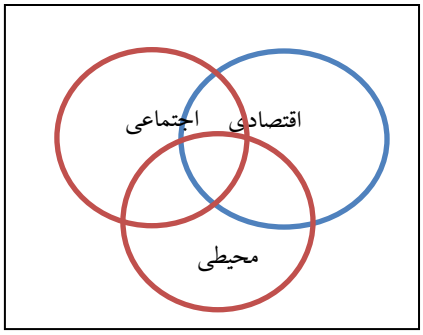
با توجه به بررسی تحقیقات انجام شده در خصوص مدل‌های پایداری می‌توان به مدل سود سه‌گانه[۱]، مدل آشیانه‌ای[۲]، مدل مرزهای شکست[۳]، مدل سه‌گانه و چهار جنبه پشتیبان[۴]، مدل کفایت اقتصادی[۵]، مدل خانه مدیریت زنجیره‌تامین پایدار[۶] اشاره نمود. در این مطالعه به‌واسطه سازگاری مدل‌های سود سه‌گانه و آشیانه‌ای با شرایط امروزی شرکت ها و اهداف آن ها، از این دو مدل استفاده می‌گردد.

الف) مدل سود سه‌گانه: مدل سود سه‌گانه یا TBL در سال ۱۹۹۸ توسط الکینگتون[۷] مطرح شد که شامل سه جز محیط طبیعی، جامعه و عملکرد اقتصادی می‌باشد. وی معتقد است که در فصل مشترک این سه جزء فعالیت‌هایی وجود دارد که سازمان‌ها می‌توانند با اشتغال به آن‌ها اثرات مثبتی بر محیط زیست و جامعه داشته و منافع اقتصادی و رقابتی را نیز برای شرکت به همراه داشته باشد[۱۴]. یکی از معتبرترین رویکردها برای سنجش عملیاتی پایداری شرکتی، خط پایین سه‌گانه می‌باشد. پایداری شرکتی بر مبنای مدل TBL دارای سه شاخص اصلی توسعه اجتماعی، حفاظت از محیط زیست و توسعه اقتصادی می‌باشد. به عبارت دیگر تولید پایدار تولیدی است که در آن سازمان در هر سه حوزه مدلTBLبرای ذینفعان سازمان عملکرد شایسته‌ای داشته باشد[۱۵].

[1] Triple bottom line
[2] Nested model
[3] Breaking down boundaries
[4] TBL+ 4facets
[5] Sufficiency economy
[6] SSCM
[7] Elkington

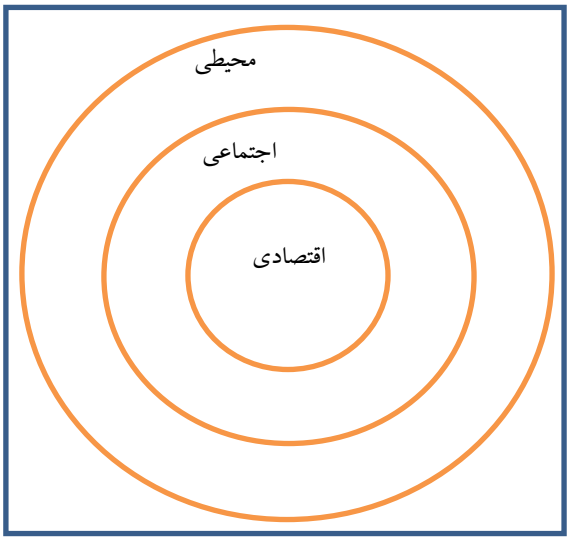
[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]



شکل ۱. مدل سود سه‌گانه

ب) مدل آشیانه‌ای: مدل آشیانه‌ای که نشان دهنده روابط بین محیط، جامعه و اقتصاد می‌باشد در سال ۲۰۰۲ توسط گدینگ و همکاران[1] معرفی شد[۱۶]. قرار گرفتن اقتصاد در مرکز به این معنی نیست که باید به عنوان یک حلقه‌ای در نظر گرفته شود و سایر بخش‌ها به دور آن می چرخند؛ بلکه به عنوان یک زیر مجموعه از بخش های دیگر و وابسته به آن‌ها می‌باشد. جامعه انسانی وابسته به محیط است اگر چه در مقابل محیط بدون اجتماع ادامه خواهد یافت. اقتصاد وابسته به اجتماع و محیط است اگر چه برای بسیاری از مردم اجتماع بدون اقتصاد هنوز وجود خواهد داشت. مدل آشیانه‌ای به‌جای مدل سه حلقه ای یک چشم انداز مفهومی موافق با یکپارچگی را ترغیب می کند.



شکل ۲. مدل آشیانه‌ای

در مدل‌های اشاره شده، مدل‌های آشیانه‌ای، مدل سود سه‌گانه و جنبه های حامی آن و خانه زنجیره‌تامین پایدار همگی به سه بعد اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی به عنوان ابعاد اصلی پایداری توجه دارند. مدل پایداری

[1]Giddings et al.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

مرزهای شکست نیز تقریبا اشاره‌هایی به این سه بعد دارد. در نتیجه می‌توان از مدل‌ها این گونه نتیجه گرفت که سه بعد زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی ابعاد اصلی پایداری در زنجیره‌تامین هستند.

در بین مدل‌های فوق، مدل آشیانه‌ای دارای این ویژگی است که بعد اقتصادی را در مرکز خود دارد و علاوه بر این ابعاد اجتماعی و محیطی نیز به عنوان سطوح بالاتر، بعد اقتصادی را در بر گرفته‌اند. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است بر خلاف مدل‌های دیگر مدل آشیانه‌ای به ابعاد اجتماعی و به خصوص محیطی توجه بیشتری نموده و بعد اقتصادی را در مرکز و وابسته به ابعاد دیگر دارد. همچنین در مدل سود سه‌گانه هدف دستیابی به یک نقطه مشترک در بین ابعاد پایداری است که در این تحقیق به‌واسطه این ویژگی ها از این دو مدل جهت مدل-سازی استفاده می‌گردد. جهت مطالعه سایر مدل‌های اشاره شده می‌توان به تحقیقات انجام شده در این رابطه مراجعه نمود[۲۰-۱۷].

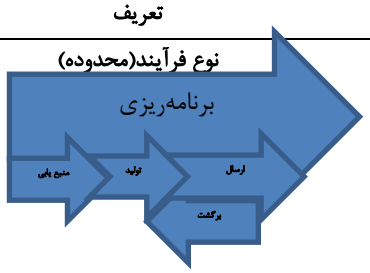
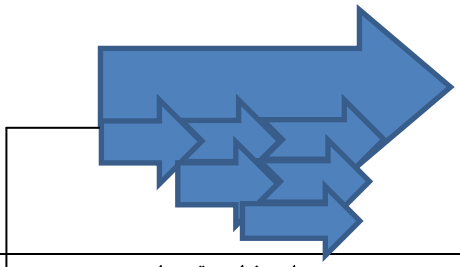
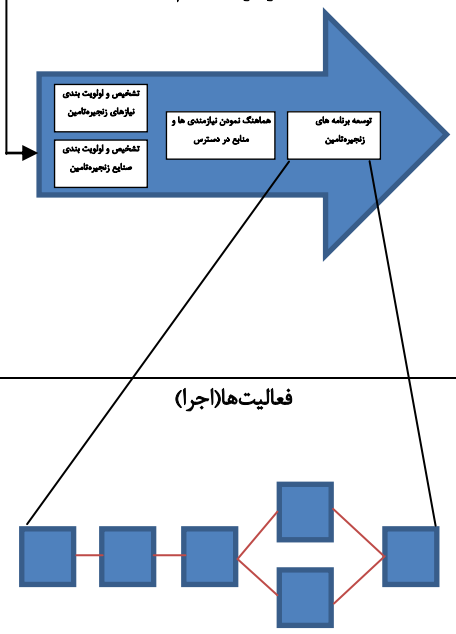
۲-۲ رویکردهای رقابت‌پذیری در زنجیره‌تامین

مطالعات انجام شده را در خصوص رقابت‌پذیری زنجیره‌تامین می‌توان در قالب سه بخش مدل مرجع عملیات زنجیره‌تامین، انعطاف‌پذیری زنجیره‌تامین و قابلیت ارتجاعی زنجیره‌تامین دسته‌بندی نمود. با توجه به تغییرات شرایط تولید و بازار، شرکت ها با فشار زیادی مواجه شده‌اند. یکی از راه‌های برخورد با این فشارها در نظرگرفتن موضوع رقابت در زنجیره یا به عبارتی افزایش انعطاف‌پذیری آن برای برآوردن نیازهای متفاوت مشتریان است[۲۲-۲۱]. برای حصول رقابت‌پذیری، به یک چارچوب یا مدل استراتژیک نیاز است تا از آن طریق بتوان شاخص‌های مربوط به رقابت‌پذیری(خدمت رسانی) زنجیره‌های تامین را استخراج کرد. بر اساس بررسی‌ها، بهترین مدل برای اندازه‌گیری رقابت‌پذیری زنجیره‌های تامین و متعاقب آن شناخت عملکرد فعلی و موقعیت رقابتی زنجیره‌های تامین، مدل مرجع عملیات‌های زنجیره‌تامین(SCOR[1]) می‌باشد که از مجمع زنجیره‌تامین(SCC[2]) ایجاد شده است[۲۴-۲۳].

[1]Supply Chain Operations Reference
[2]Supply Chain Council

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

	سطح		مثال	توضیحات
	#	تعریف		
در محدوده SCOR	۱	**نوع فرآیند(محدوده)** 	برنامه‌ریزی، منبع-یابی، تولید، ارسال، برگشت	سطح یک، محدوده و محتوای زنجیره‌تامین را مشخص می‌کند. در این سطح پایه‌های نحوه عملکرد زنجیره‌تامین مشخص می‌شود
	۲	**دسته بندی فرآیند** 	zتولید به روش‌های MTS MTO ETO	سطح دو، استراتژی‌های عملیاتی را تعیین می‌کند. در این سطح توانایی‌های فرآیند زنجیره‌تامین تعیین می‌شود.
	۳	**عناصر فرایند(قدم‌ها)** 	برنامه‌ریزی دریافت مواد، دریافت مواد، تایید مواد دریافتنی، انتقال مواد، انجام امور مالی	سطح سه، هر فرآیند به صورت کلی تعریف گردیده و ورودی ها و خروجی های هر یک تعیین می‌گردد. در این سطح زنجیره‌تامین شکل می‌گیرد و عناصر فرآیندی از نوع برنامه‌ریزی و توانمندی در یک توالی منطقی نمایش داده می‌شود.
خارج از محدوده SCOR	۴	**فعالیت‌ها(اجرا)** 	اقدامات تکنولوژی مورد نیاز، پرینت کردن لیست ارسال نحوه جاگذاری انبار	سطح چهار تمام فعالیت های مورد نیاز در زنجیره‌تامین را مشخص می کند. در این سطح تمامی اقدامات لازم برای اجرای عملکرد زنجیره‌تامین جهت پیاده‌سازی تعیین می‌شود.

شکل۳. مدل SCOR (مجمع زنجیره‌تامین، ۲۰۰۰)

مدل SCOR دارای ۵ شاخص کلیدی عملکردی مطابق جدول ۱ می‌باشد

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

جدول۱. شاخص‌ها و معیارها در مدل SCOR

ردیف	شاخص‌ها	معیارها
۱	قابلیت اطمینان	انجام کامل سفارش
۲	پاسخگویی	چرخه‌ی زمانی انجام سفارش
۳	چابکی	انعطاف‌پذیری رو به بالا
		سازگاری رو به بالا
		سازگاری رو به پایین
		مجموع ارزش در معرض ریسک
٤	هزینه	کل هزینه به کار گرفته شده
٥	کارایی مدیریت دارایی	چرخه ی زمانی نقد به نقد
		بازگشت دارایی ثابت
		بازگشت سرمایه در گردش

قابلیت اطمینان: شاخص قابلیت اطمینان را توانایی انجام وظایف مطابق با برنامه‌های از پیش تعیین شده فراهم می‌کند. قابلیت اطمینان برروی قابل پیش بینی بودن خروجی های یک فرایند تمرکز می‌کند.

پاسخگویی: این شاخص سرعت انجام وظایف را توصیف می‌کند. شاخص کلیدی عملکرد SCOR برای پاسخگویی چرخه زمانی انجام سفارش است.

چابکی: چابکی در زنجیره‌تامین انعطاف‌پذیری آن در پاسخگویی به تغییرات تصادفی در بازار برای دستیابی یا حفظ مزایای رقابتی است. شاخص کلیدی SCOR شامل انعطاف‌پذیری، در دسترس‌پذیری و ارزش‌های در معرض ریسک است.

هزینه: هزینه یک شاخص کلیدی عملکرد زنجیره‌تامین است. شاخص کلیدی عملکرد هزینه، کل هزینه-هایی است که انجام شده است.

کارایی مدیریت دارایی: مدیریت دارایی زنجیره‌تامین به کارایی یک سازمان در مدیریت کردن دارایی‌ها برای حمایت از رضایت مشتریان اشاره دارد [۲۵]. شاخص‌های سطح اول SCOR که برای پوشش هر یک از مشخصه‌های پنج گانه فوق طراحی شده‌اند مشتمل بر ۱۰ شاخص در سطح یک است. مدل SCOR در مجموع ۱۸۱ شاخص جزیی برای سنجش عملکرد فرایندهای اصلی و زیرفرایندهای مدل معرفی‌کرده است[۲۶]. وییر (۲۰۱۷) در تحقیق خود کاربرد مدل اسکور را در زنجیره خدمات بررسی کرده و توسعه داده است[۲۷]. کالپانی و جنیفر[1] (۲۰۱۸) نیز در مطالعه خود یک مدل اندازه گیری عملکرد زنجیره‌تامین سازماندهی شده را با استفاده از مدل SCOR و تکنیک مدل‌سازی معادلات ساختاری توسعه داده‌اند[۲۸]. با توجه به ویژگی‌های یاد شده در تحقیق حاضر از مدل SCOR، جهت رقابت‌پذیری زنجیره‌تامین استفاده می‌شود.

انعطاف‌پذیری زنجیره‌تامین نیز نوعا به عنوان راه حل کلیدی برای بالا بردن عدم اطمینان و رقابت در بازار در نظر گرفته شده است. در خصوص انعطاف پذیر نمودن زنجیره‌تامین برای رقابت‌پذیری می‌توان به تحقیقات

[1]Kalpani and Jennifer

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

انجام شده مراجعه نمود[۳۷-۲۹]. بحث رقابتی بودن زنجیره‌تامین را می‌توان با ایجاد و توسعه قابلیت ارتجاعی[1] زنجیره نیز بررسی نمود که با توجه به تغییر و پیچیدگی محیط کسب و کار، باعث بهبود عملکرد شرکت در بلند مدت می‌شود[۳۸]؛ بنابراین ایجاد و تداوم رقابت‌پذیری با بهره‌گیری از توانمندی‌های قابلیت ارتجاعی برای سازمان‌ها ضروری می‌گردد. در پی ناکارآمدی روش‌های سنتی مدیریت ریسک، محققان و مدیران صنعت؛ قابلیت ارتجاعی را دریافتند و مورد مطالعه قرار داده‌اند که به صورت مناسب‌تری برای مواجهه با پیچیدگی‌های اخیر، اتفاقات غیرقابل پیش بینی و تهدیدات طراحی شده است[۴۶-۳۹].

۲-۳ رویکردهای عدم قطعیت در زنجیره‌تامین

با توجه به مطالعات انجام شده سه رویکرد برای پشتیبانی عدم قطعیت شامل مدل‌های برنامه‌ریزی احتمالی، رویکرد استوار و مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی در زنجیره‌تامین وجود دارد. یکی از مدل‌های کارا برای مسایل با عدم قطعیت، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی می‌باشد که در این تحقیق از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط فازی استفاده می‌شود. مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی با داده‌های بیش از حد و عدم قطعیت فراوان در کاربردهای تحقیق در عملیات بسیار معمول است و می‌توان در مدل‌سازی زنجیره‌تامین در شرایط عدم قطعیت مورد استفاده قرار داد. عدم قطعیت به دو صورت می‌تواند بیان گردد: (۱) انعطاف‌پذیری در محدودیت‌ها و اهداف و (۲) عدم قطعیت در داده‌ها[۴۷]. انعطاف‌پذیری با مقدار منعطفی از اهداف و محدودیت‌هایی مرتبط است که با استفاده از مجموعه‌های فازی مدل شده است[۴۸]. برای مقابله با این نوع عدم قطعیت، از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی منعطف استفاده می‌شود. عدم قطعیت در داده‌ها می‌تواند به دو دسته تقسیم شود: (۱) تصادفی بودن پارامترهای مدل که از ماهیت تصادفی رخدادها ناشی می‌شود که برای مدل کردن این نوع عدم قطعیت از رویکردهای برنامه‌ریزی احتمالی استفاده می‌شود [۴۹] و (۲) عدم قطعیت شناختی که به کمبود دانش در ارتباط با پارامترهای مدل می‌پردازد و برای مقابله با این نوع عدم قطعیت از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استفاده می‌شود. توزیع‌های احتمالی از داده‌های آماری گذشته استفاده می‌کنند؛ لذا مدل‌های احتمالی ممکن است بهترین انتخاب نباشند[۵۰]. تئوری مجموعه‌های فازی و تئوری امکانی می‌تواند گزینه مناسب‌تری نسبت به تئوری احتمالی برای مقابله با عدم قطعیت‌های زنجیره‌تامین باشد که، البته بسیار ساده‌تر بوده و همچنین به داده کم‌تری نیاز دارد[۵۱]. بایکاسوگلو و گوکن[2](۲۰۰۸) یک طبقه‌بندی از مسایل برنامه‌ریزی ریاضی فازی ارایه کردند به گونه‌ای که آن‌ها ۱۵ نوع مختلف از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی فازی را شناسایی و برای هر نوع رویکردهای حل مختلفی نیز ارایه نمودند[۵۲].

عدم اطمینان و تاثیر آن روی خروجی‌ها و ساختار زنجیره‌تامین روش‌های محاسباتی فازی مختلفی را توسعه داده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به احتمال فازی، فازی استوار و فازی تعاملی اشاره نمود. احتمال فازی به عنوان یک رویکرد کارا برای مدیریت داده‌های نادقیق و یا تاریخی نارسا مورد استفاده قرار می‌گیرد که برای

[1] Resilient
[2] Baykasoglu and Göçken

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

تخمین تابع توزیع احتمال با پارامترهای با عدم اطمینان مورد نیاز می‌باشد. تسائو و همکاران[1](۲۰۱۸) خلاصه‌ای از تحقیقات انجام شده از سال ۲۰۱۰ تا کنون در خصوص ابعاد اصلی پایداری در شرایط عدم اطمینان ارایه نموده-اند[۵۳].

وانگ و هسو[2](۲۰۱۲) رویکرد احتمال فازی را برای مدل‌سازی و حل مجدد لجستیک حلقه بسته در شرایط عدم اطمینان با توابع هدف مرتبط با حمل و نقل، عملیات و هزینه مازاد و کمبود مورد استفاده قرار دادند[۵۴]. روش فازی تعاملی به عنوان ترکیبی از روش‌ها جهت تبدیل مدل فازی اصلی به مدل قطعی کمکی معادل و حل مسایل چند هدفه بر اساس رویکردهای فازی، شناخته می‌شود. پیشوایی و رزمی (۲۰۱۲) یک رویکرد جواب فازی بر اساس اپسیلن محدودیت ارایه نمودند[۵۵] و پشوایی وهمکاران (۲۰۱۲b) نیز یک جواب بر اساس روش اندازه‌گیری معتبر برای طراحی شبکه‌های زنجیره‌تامین پایدار ارایه کردند[۵۶]. همچنین پیشوایی و همکاران (a۲۰۱۲) یک روش برنامه‌ریزی احتمالی استوار بر مبنای ارزش مورد انتظار از اعداد فازی برای طراحی شبکه مسئولیت‌پذیری اجتماعی ارایه نمودند[۵۷]. صفر و همکاران[3](۲۰۱۵) یک روش اپسیلون محدودیت فازی در طراحی شبکه زنجیره‌تامین سبز در شرایط عدم اطمینان به‌کار بردند[۵۸].

مدل‌های ریاضی را بر اساس چهار ویژگی بزرگی یا وسعت مدل، ویژگی پایداری، رویکرد جواب و کاربرد صنعتی دسته‌بندی نموده اند. وسعت مدل در ارتباط با ساختار و اندازه شبکه زنجیره‌تامین و در قالب عبارات کلیدی به همراه موجودیت‌های مهم دیگر هر مدل به‌کار می‌رود. مطابق این تحقیق جامع‌ترین تحقیقات در این زمینه مربوط به چابان و همکاران[4] (۲۰۱۲)، پیشوایی و همکاران[5] (۲۰۱۲) و موتا و همکاران[6] (۲۰۱۵) می‌باشد[۶۰-۵۹].

پیشوایی و همکاران یک مدل چند هدفه برای طراحی شبکه‌های زنجیره‌تامین پایدار با در نظر گرفتن فاکتورهای اقتصادی، محیطی و اجتماعی پیشنهاد کردند. مدل تک پریود زمانی آن‌ها جهت طراحی یک زنجیره‌تامین چند سطحی که شامل چند کارگاه، چند مرکز توزیع، مشتریان، یک مرکز مواد اولیه و یک روش حمل و نقل می‌باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در رابطه با جنبه‌های اجتماعی تعداد کمی از نویسندگان مانند موتا و همکاران(۲۰۱۵) مدلی که تاثیرات اجتماعی تولید و توزیع را در نظر می‌گیرد، پیشنهاد نموده‌اند[۶۱]. ورسه ای و پلی اکواسکی[7](۲۰۱۷) ضمن اشاره به مشکلات و چالش‌های شرکت ها در زمینه پایداری و کمبود منابعی که سه بعد پایداری را به‌طور مشترک در مدل‌های تحلیلی زنجیره‌تامین مورد بررسی قرار داده باشند، مدل خود را در یک صنعت نوشابه‌سازی استرالیا مورد بررسی قرار داده که مدل مذکور اهداف هر سه بعد اقتصادی، محیطی و اجتماعی را شامل می‌گردد[۶۲]. موتا و همکاران (۲۰۱۸) یک رویکرد مدل‌سازی جامع تحت عدم

[1] Tsao et al.
[2] Wang and Hsu
[3] Saffar et al.
[4] Chaabane et al.
[5] Pishvaee et al.
[6] Mota et al.
[7] Varsei & Polyakovskiy

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

قطعیت برای زنجیره‌تامین پایدار بر مبنای رویکرد TBL که یک ابزار برای طراحی و برنامه‌ریزی زنجیره‌های تامین پایدار است، ارایه نموده‌اند[۶۳].

دابی و همکاران[۱](۲۰۱۷) در تحقیقی استفاده از مدل ساختاری تفسیری جمعی[۲] را در مدیریت زنجیره‌تامین پایدار مورد بررسی قرار دادند[۶۴]. اسریدوی و سرانگا[۳] (۲۰۱۷) نیز در تحقیق خود ریسک‌های عملیاتی زنجیره‌تامین و شرایطی که شرکت‌ها می‌توانند این ریسک‌ها را کاهش دهند، مورد بررسی قرار دادند[۶۵]. ارامپانتزی و مینز[۴](۲۰۱۷) یک مدل جدید برای طراحی شبکه‌های زنجیره‌تامین پایدار و کاربرد آن در یک تولیدکننده جهانی پیشنهاد نمودند. مدل ارایه شده در قالب برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چند هدفه بوده که تصمیمات مهم و معنی داری در طراحی یا طراحی مجدد با عملکرد بالای زنجیره‌های تامین اتخاذ می‌نماید. تسائو و همکاران (۲۰۱۸) و توکلی مقدم و همکاران(۲۰۱۸) نیز یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه برای طراحی شبکه‌های زنجیره‌تامین پایدار تحت شرایط عدم قطعیت با داده های نامطمئن ارایه نمودند[۶۶].

تعداد زیادی از مدل‌های دارای عدم قطعیت از توزیع‌های آماری و مدل‌های برنامه‌ریزی احتمالی برای عدم قطعیت داده‌ها استفاده می‌کنند[۷۶-۶۷]. رویکرد استوار نیز برای حل مسایل بهینه‌سازی با عدم قطعیت داده‌ها در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ پیشنهاد شد و اخیراً به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته و توسعه یافته است. در خصوص رویکرداستوار نیز می‌توان به تحقیقات مرادی و همکاران، ۱۳۹۳، سویستر[۵]،۱۹۷۳ ، مالوی و همکاران[۶]، ۱۹۹۵، بنتال و نمیروفسکی[۷]،۲۰۰۰، برتسیماس و سیم[۸]،۲۰۰۴، لی و همکاران[۹]، ۲۰۰۸، پن و ناگی[۱۰]،۲۰۱۰، پیشوایی و ترابی،۲۰۱۲، داگلاس و رینالدو[۱۱]، ۲۰۱۲، تاها و همکاران[۱۲]،۲۰۱۵، لی و زابنیسکی[۱۳]،۲۰۱۶، زکایی و همکاران،۲۰۱۷ اشاره نمود[۸۶-۷۷].

۳ تعریف مساله و مدل سازی

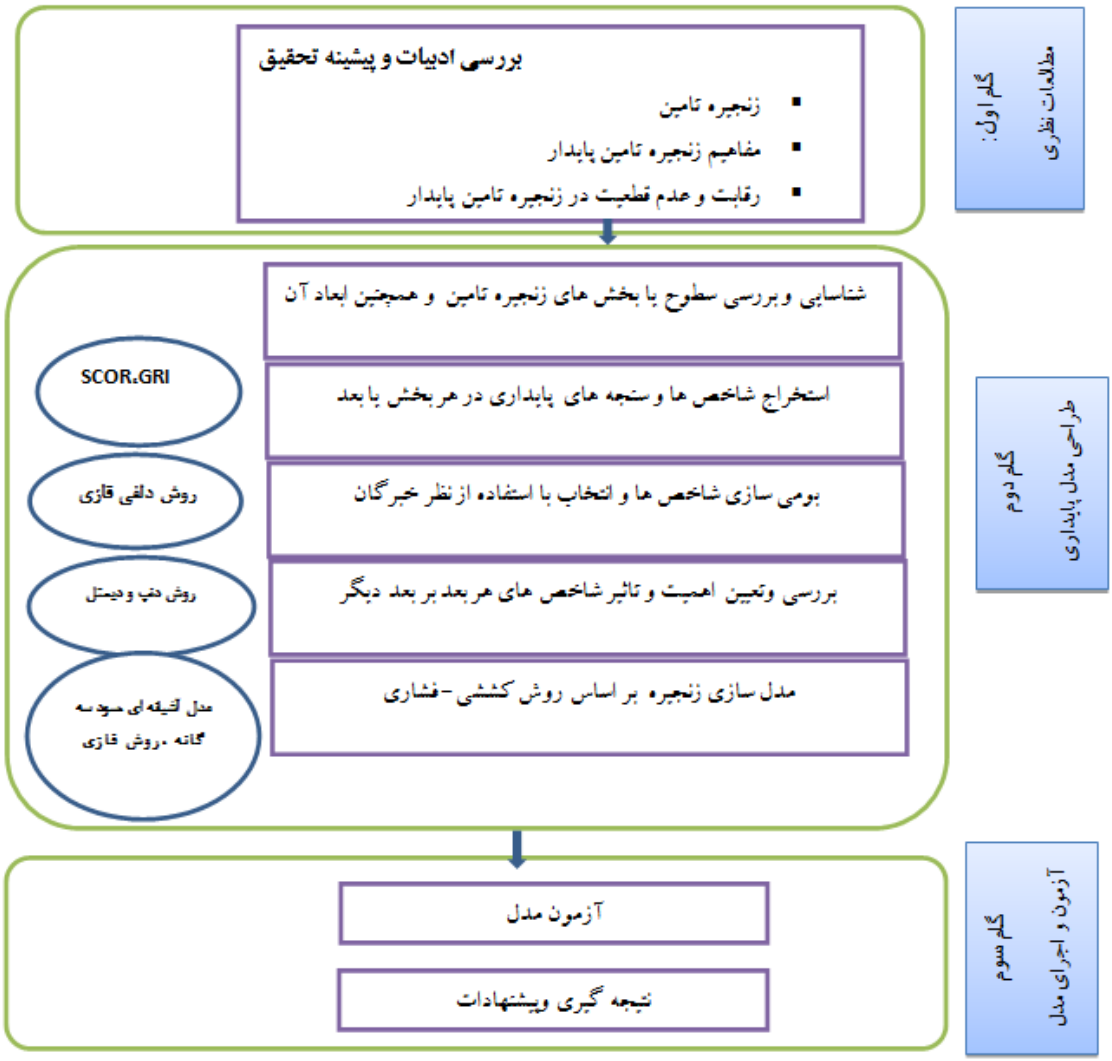
۳-۱ مدل مفهومی تحقیق

فرایند انجام این تحقیق مطابق مدل مفهومی زیر است:

[1] Dubey et al.
[2] Total Interpretive Structural Modeling(TISM)
[3] Sreedevi and Saranga
[4] Arampantzi and Minis
[5] Soyster
[6] Mulvey et al.
[7] Ben-Tal, A., Nemirovski
[8] Bertsimas and Sim
[9] Li et al.
[10] Pan and Nagi
[11] Daglas and Rinaldo
[12] Taha et al.
[13] Li and Zabinsky

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]



شکل ٤. مدل مفهومی تحقیق

۳-۲ شاخص‌های پایداری

در این بخش با بررسی شاخص‌ها و سنجه‌های مختلف در خصوص مدل‌سازی و همچنین بررسی چارچوب‌های مختلف ارزیابی پایداری و در نهایت ترکیب آن‌ها، شاخص‌ها و سنجه ها استخراج و ارایه گردید. از مهم‌ترین تحقیقات در این زمینه می‌توان به گزارش‌دهی جهانی[1]،(۲۰۱۶)، آزاپاچیک[2] (۲۰۰۴)، کراجنگ و گلاویچ[3] (۲۰۰۵)، کراجنگ و گلاویچ (۲۰۰۳) اشاره نمود[۹۰-۸۷]. در مرحله بعد این شاخص‌ها با روش دلفی در خصوص صنعت مورد مطالعه بومی‌سازی شده ودر نهایت۳۶ شاخص در سه بعد پایداری انتخاب گردید.

[1] Global Reporting Initiative
[2] Azapagic
[3] Krajnc and Glavic

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

جدول۲. شاخص‌های ابعاد پایداری

ردیف	اقتصادی(Eco)	محیطی(Env)	اجتماعی(Soc)
۱	ارزش اقتصادی تولید شده به‌صورت مستقیم	متوسط مصرف مواد اولیه به ازای تولید: کل مواد مصرفی تقسیم بر تولید	تعداد اشتغال مستقیم ایجاد شده
۲	میزان فروش بر اساس هر محصول:تن در سال	کارایی مواد خام	تعداد اشتغال غیر مستقیم
۳	فروش خالص: درآمد خالص از فروش محصولات	کل مصرف انرژی شرکت	ثبات در شغل و نیروی کار
۴	ارزش افزوده ایجاد شده(کسر هزینه کالاها و خدمات خریداری شده از فروش) مبلغ در سال	استاندارد های استفاده شده برای کنترل مصرف انرژی	ایمنی و بهداشت
۵	هزینه های عملیاتی در سال	میزان انرژی مصرف شده به ازای واحد تولید	ساعات کاری از دست رفته به دلیل وقایع و حوادث: تعداد در دوره
۶	کل هزینه حمل و نقل	درصد صرفه جویی با افزایش کارایی انرژی	نرخ مشارکت در دوره های آموزشی، در صد کارکنان آموزش دیده
۷	کل هزینه حقوق و دستمزد و مزایای کارکنان	تعداد شکایات زیست محیطی حل شده و برطرف شده	تعداد افراد تشویق شده به کل کارکنان
۸	مقدار سرمایه گذاری در برنامه های توسعه پایدار: هزینه تحقیق و توسعه پایدار تقسیم بر هزینه های شرکت	نسبت تامین کنندگان پایدار به کل تامین کنندگان	غیبت نیروی انسانی
۹	توزیع جغرافیایی مشتریان، انواع بازارهای تحت پوشش(سهم بازار)	قابلیت بازیافت، تولید مجدد و باز طراحی محصول	رضایت مشتریان
۱۰	دریافت به موقع سفارشات (مواد اولیه و قطعات) از تامین کنندگان	درصد فضای سبز کارخانه	تنوع تولید
۱۱	ضرر و زیان ناشی از تاخیر در فرایند تحویل سفارش به مشتریان (یا تاخیر حمل: تن × ماه تاخیر سفارش)	دی اکسید کربن تولید شده در عملیات شرکت	خدمات پس از فروش
۱۲	نوآوری: نسبت تعداد محصولات جدید به تعداد محصولات دوره قبل (نسبت فروش محصولات جدید به کل فروش)	آلودگی ذرات و گرد و غبار	انسجام و مشارکت اجتماعی (حمایت کارکنان از یکدیگر، احساس پذیرش از سوی دیگران و راحتی در کار، نشان‌دادن واکنش‌های مناسب به کنش‌های محیطی)

۳-۳ تعیین روابط بین شاخص‌ها و ضرایب وزنی

جهت تعیین روابط بین شاخص‌ها و ضرایب وزنی آن‌ها و در نظر گرفتن این ضرایب در حل مدل ریاضی از دو روش متفاوت استفاده می‌گردد. انتخاب روش متفاوت برای هر مدل نیز به دلیل ساختار متفاوت دو مدل سود سه‌گانه و آشیانه‌ای می‌باشد. پس از تعیین شاخص‌های هر بعد و تشکیل جداول اولیه از گروه کارشناسان خواسته شد تا نظرات خود را در خصوص اثرگذاری شاخص‌ها وارد نمایند. برای مقایسه زوجی شاخص‌ها از نمرات صفر

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

(بدون اثرگذاری)، یک (بسیار کم اثرگذار)، دو (اثرگذاری کم)، سه (اثرگذاری زیاد)، چهار(بسیار اثرگذار) استفاده گردید. در این تحقیق جهت مدل سود سه‌گانه از روش DANP[1] استفاده می‌گردد. علت انتخاب این روش به دلیل ویژگی این مدل و همچنین تعامل ابعاد پایداری در مدل سود سه‌گانه می‌باشد. روش DANP یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است که با استفاده از ماتریس ارتباطات دیمتل، سوپر ماتریس ANP را تشکیل داده و وزن معیارها و زیرمعیارها را محاسبه می‌کند. در واقع روش دنپ ترکیبی از روش دیمتل و ANP است[۹۱]. ضرایب وزنی مطابق این روش در جدول زیر ارایه شده است.

جدول۳. ماتریس اوزان شاخص های ابعاد پایداری بر اساس روش DANP

بعد اقتصادی	وزن شاخص	بعد اجتماعی	وزن شاخص	بعد محیطی	وزن شاخص
Eco1	./۷۵	Soc1	./۶۶	Env1	./۵۵
Eco2	./۶۴	Soc2	./۵۷	Env2	./۶۰
Eco3	./۶۳	Soc3	./۷۷	Env3	./۶۱
Eco4	./۷۵	Soc4	./۷۵	Env4	./۵۱
Eco5	./۷۴	Soc5	./۸	Env5	./۶۰
Eco6	./۵۸	Soc6	./۷۴	Env6	./۵۴
Eco7	./۷۳	Soc7	./۷۰	Env7	./۲۱
Eco8	./۶۷	Soc8	./۵۶	Env8	./۵۶
Eco9	./۷۶	Soc9	۱.۱۳	Env9	./۷۱
Eco10	./۵۳	Soc10	./۴۵	Env10	./۰۲
Eco11	./۸۱	Soc11	./۸۵	Env11	./۵۷
Eco12	./۷۱	Soc12	./۹۸	Env12	./۵۶

مطابق نتایج جدول ۳ در بعد اقتصادی بیش‌ترین اهمیت به ترتیب مربوط به تاخیر در فرایند تحویل کالا، سهم بازار، ارزش اقتصادی و ارزش افزوده تولید شده و کم‌ترین اهمیت مربوط به دریافت به موقع سفارش می‌باشد. در بعد اجتماعی بیش‌ترین اهمیت مربوط به رضایت مشتریان و مشارکت اجتماعی و کم‌ترین مربوط به تنوع تولید می‌باشد. در بعد محیطی هم بیش‌ترین ارزش مربوط به قابلیت بازیافت، تولید مجدد و باز طراحی محصول وکم‌ترین مربوط به فضای سبز کارخانه می‌باشد.

برای تعیین روابط بین شاخص‌ها و به‌دست آوردن ضرایب وزنی هر شاخص و اعمال این ضریب جهت توابع هدف در مدل آشیانه‌ای از روش Dematel [2] استفاده می‌گردد. فن دیمتل که از انواع روش‌های تصمیم‌گیری بر اساس مقایسه‌های زوجی است، با بهره‌مندی از قضاوت خبرگان در استخراج عوامل یک سیستم و ساختاردهی نظام‌مند به آن‌ها با به‌کارگیری اصول نظریه گراف‌ها، ساختاری سلسله‌مراتبی از عوامل موجود در سیستم همراه با روابط تأثیر و اثر متقابل ارایه می‌دهد، به‌گونه‌ای که شدت اثر روابط مذکور را به‌صورت امتیاز عددی معین می‌کند[۹۲]. وزن و اولویت هر شاخص مطابق جدول ۴ می‌باشد.

[1] DEMATEL-based Analytic Network Process
[2] Dematel: Decision Making Trial and Evaluation Laboratory

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

جدول٤. ماتریس اوزان شاخص‌های ابعاد پایداری بر اساس روش Dematel

بعد اقتصادی	وزن شاخص	بعد اجتماعی	وزن شاخص	بعد محیطی	وزن شاخص
Eco1	۰/۷۸۶۵	Soc1	۰/۷۵۹۲	Env	۱
Eco2	۱	Soc2	۰/۷۵۴۰	Env	۰/۹۹۵۷
Eco3	۰/۷۹۳۹	Soc3	۰/۸۴۶۱	Env	۰/۴۲۶۳
Eco4	۰/۹۱۱۱	Soc4	۱	Env	۰/۸۳۴۲
Eco5	۰/۷۴۷۲	Soc5	۰/۵۱۹۴	Env	۰/۴۲۶۹
Eco6	۰/۶۲۶۴	Soc6	۰/۶۷۶۷	Env	۰/۷۹۱۱
Eco7	۰/۷۳۵۴	Soc7	۰/۶۳۴۱	Env	۰/۷۶۱۹
Eco8	۰/۷۶۸۴	Soc8	۰/۵۲۰۰	Env	۰/۸۶۱۹
Eco9	۰/۶۸۳۳	Soc9	۰/۷۷۰۷	Env	۰/۸۹۸۳
Eco10	۰/۹۸۶۷	Soc10	۰/۸۱۴۸	Env	۰/۶۷۱۰
Eco11	۰/۹۰۴۹	Soc11	۰/۷۲۳۴	Env	۰/۶۸۹۵
Eco12	۰/۹۰۸۵	Soc12	۰/۸۰۵۱	Env	۰/۷۹۷۱

مطابق جدول ۴ در بعد اقتصادی فروش محصول و دریافت به موقع سفارش، بیش‌ترین اهمیت و هزینه حمل ونقل دارای کم‌ترین اهمیت می‌باشد. در بعد اجتماعی، ایمنی و بهداشت و ثبات شغلی دارای بیش‌ترین اهمیت و ساعات کاری از دست رفته دارای کم‌ترین اهمیت و در بعد محیطی هم بیش‌ترین مربوط به متوسط مصرف مواد اولیه و کارایی مواد خام و کم‌ترین مربوط به هزینه انرژی شرکت می‌باشد.

٤-۳ اهداف مدل

با توجه به بررسی اهداف پایداری و همچنین نظر خبرگان و شاخص‌های جدول ۲، اهداف مطابق جدول ۵ انتخاب شد.

جدول۵. اهداف مربوط به ابعاد پایداری

اهداف اقتصادی		اهداف زیست محیطی		اهداف اجتماعی	
Max	Min	Max	Min	Max	Min
سود عملیاتی	هزینه تامین مواد اولیه	درصد فضای سبز کارخانه	کاهش دی اکسید کربن	مسئولیت اجتماعی شرکت	ساعات کاری از دست رفته به‌دلیل حوادث
ارزش افزوده	هزینه تاخیر تحویل سفارش	قابلیت بازیافت، باز تولید محصول	کاهش آلودگی و ذرات گرد و غبار	تعداد اشتغال مستقیم	کاهش غیبت نیروی انسانی
سطح تولید	هزینه تحقیق و توسعه		کاهش مصرف انرژی	ثبات شغلی نیروی کار	کاهش تعداد حوادث شغلی
فروش خالص	هزینه حمل ونقل		متوسط مصرف مواد اولیه	ایمنی وبهداشت	
نوآوری محصول	هزینه عملیاتی محصول		تعداد شکایات زیست محیطی	مشارکت در دوره-های آموزشی	
	حقوق و دستمزد			رضایت روانشناختی	
				تعداد افراد تشویق شده	

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

۳-۵ مدل‌سازی

۳-۵- ۱ مجموعه‌ها و اندیس‌ها

i: اندیس مواد اولیه, $(i = ۱,۲,...,I)$

j : اندیس محصولات, $(j = ۱,۲,...,J)$

s : اندیس تامین‌کنندگان, $(s = ۱,۲,...,S)$

t: اندیس دوره‌ها, $(t = ۱,۲,...,T)$

k: اندیس مشتریان, $(k = ۱,۲,...,K)$

۳-۵- ۲ متغیرها و پارامترها

جدول٦. متغیرها و پارامترهای اصلی مدل ریاضی

متغیر	تعریف	پارامتر	تعریف
X_{ist}	میزان تامین(خرید) مواد اولیه i ام از تامین کننده s ام در دوره زمانی t ام(کیلوگرم)	CP_{jt}	بهای تمام شده یک واحد محصول تولیدی j ام در دوره زمانی t ام (ریال)
MP_{jt}	میزان محصول تولیدی j ام در دوره زمانی t ام (کیلوگرم)	PP_{jt}	قیمت فروش یک واحد محصول تولیدی j ام در دوره زمانی t ام (ریال)
MPC_{jkt}	میزان محصول j ام، تحویل به مشتری k ام در دوره زمانی t ام(کیلو گرم)	OC_{jt}	هزینه عملیاتی یک واحد محصول تولیدی j ام در دوره زمانی t ام (ریال)
$DEsh_t$	تعداد شغل مستقیم ایجاد شده در دوره زمانی t ام	PX_{ist}	قیمت خرید ماده i ام از تامین‌کننده s ام در دوره زمانی t ام
$EduEmp_t$	تعداد کارکنان آموزش دیده در دوره زمانی t ام	RD_{jt}	هزینه تحقیق و توسعه یک واحد محصول تولیدی j ام در دوره زمانی t ام (ریال)
$Social_t$	تعداد/ مقدار مشارکت اجتماعی انجام شده در دوره زمانی t ام (ریال)	TC_{jt}	هزینه حمل یک واحد محصول تولیدی j ام در دوره زمانی t ام(ریال)
$Green_t$	درصد/ مقدار فضای سبز ایجاد شده در دوره زمانی t ام(متر مربع)	$SAll_{jt}$	هزینه حقوق و دستمزد به ازای یک واحد محصول تولیدی j ام در دوره زمانی t ام(ریال)
$NTash_t$	تعداد تشویق انجام شده در دوره زمانی t ام	CO_{jt}	دی اکسید کربن تولید شده به ازای یک واحد محصول تولیدی j ام در دوره زمانی t ام (میلی گرم بر متر مکعب نرمال)
$LoseTime_t$	تعداد روزهای کاری از دست رفته در دوره زمانی t ام	$POLL_{jt}$	آلودگی ذرات گرد و غبار تولید شده به ازای یک واحد محصول تولیدی j ام در دوره زمانی t ام (میلی گرم بر متر مکعب نرمال)
$AbsTime_t$	تعداد ساعات غیبت نیروی انسانی در دوره زمانی t ام	MA_{jt}	متوسط مصرف مواد اولیه یک واحد محصول تولیدی j ام در دوره زمانی t ام (کیلوگرم)
$AcJob_t$	تعداد حوادث شغلی به‌وجود امده در دوره زمانی t ام	EA_{jt}	متوسط مصرف انرژی یک واحد محصول تولیدی j ام در دوره زمانی t ام (ریال)
$EnvComplain_t$	تعداد شکایات محیطی در دوره t ام	$\Pr ofit_{jt}$	سود محصول j ام در دوره زمانی t ام (ریال)
N_{st}	متغیر صفر و یک نشان دهنده استفاده از تامین‌کننده s در دوره t.		

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

۳-۵- ۳ مدل ریاضی فازی مساله

با توجه به علایم معرفی شده، مدل ریاضی مساله به صورت زیر می‌باشد:

$$Max\ z_1 = \sum_j \sum_t \Pr ofit_{jt}.MP_{jt} \quad (1)$$

$$Min\ z_2 = \sum_j \sum_t CO_{jt}.MP_{jt} + \sum_j \sum_t Poll_{jt}.MP_{jt} \quad (2)$$

$$Min\ z_3 = \sum_j \sum_t EA_{jt}.MP_{jt} \quad (3)$$

$$Max\ z_4 = \sum_t Green_t \quad (4)$$

$$Max\ z_5 = \sum_t Desh_t + EduEmp_t + NTash_t \quad (5)$$

$$Max\ z_6 = \sum_t Social_t \quad (6)$$

$$Min\ z_7 = \sum_t LoseTime_t + AbsTime_t + AcJob_t + EnvComplain_t \quad (7)$$

s.t.

$$MP_{jt} \le MCap_{jt}, \quad \forall j,t, \quad (8)$$

$$\sum_k MPC_{jkt} \le MP_{jt}, \quad \forall j,t, \quad (9)$$

$$MPC_{jkt} \ge MDem_{jkt}, \quad \forall j,k,t, \quad (10)$$

$$\sum_i \sum_s X_{ist} \ge \sum_j Useper.MP_{jt}, \quad \forall t, \quad (11)$$

$$X_{ist} \le MaxSupp_i.N_{st}, \quad \forall i,s,t, \quad (12)$$

$$EduEmp_t \le Desh_t, \quad \forall t, \quad (13)$$

$$Desh_t <= MaxDesh_t, \quad \forall t, \quad (14)$$

$$Social_t \le MaxSocial_t, \quad \forall t, \quad (15)$$

$$Green_t \le MaxGreen_t, \quad \forall t, \quad (16)$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

$$Ntash_t \le \lambda_t Desh_t, \qquad \forall t, \qquad (۱۷)$$

$$LoseTime_t \le MaxLT_t, \qquad \forall t, \qquad (۱۸)$$

$$AbsTime_t <= MaxAbs_t, \qquad \forall t, \qquad (۱۹)$$

$$JobAcc_t \le \beta_t.Desh_t, \qquad \forall t, \qquad (۲۰)$$

$$EnvComplain_t <= MaxEC_t, \qquad \forall t, \qquad (۲۱)$$

$$N_{st} \in (۰,۱) \qquad \forall s,t, \qquad (۲۲)$$

$$MP_{jt}, X_{ist}, Green_t, Desh_t, EduEmp_t, Social_t, NTash_t, LoseTime_t, AbsTime_t, AcJob_t, EnvComp_t \ge ۰, \qquad \forall t. \qquad (۲۳)$$

تابع هدف اول اقتصادی می‌باشد. این تابع سودآوری هر واحد محصول را نشان می‌دهد. سود هر واحد محصول از تفاضل فروش محصول از مجموع هزینه‌های محصول که پارامترهای آن در جدول ۵ معرفی شده است، به دست می آید که جهت سادگی محاسبات در قالب یک عبارت و یک تابع معرفی شده است. با توجه به اینکه تمام پارامترها و متغیرهای بخش اقتصادی معرفی شده است، می‌توان به تفکیک نیز توابع هدف این بخش را محاسبه کرد. تابع هدف دوم، سوم و چهارم زیست محیطی بوده و تابع هدف دوم مجموع خروجی گازها، ذرات گرد و غبار و تابع هدف سوم انرژی مصرف شده به ازای هر واحد محصول را مینیمم می‌کند. تابع هدف چهارم فضای سبز کارخانه را نشان می‌دهد. توابع هدف پنجم، ششم و هفتم بعد اجتماعی را بررسی می‌کند. تابع هدف پنجم عبارت‌های اشتغال، آموزش و تشویق در کارخانه را نشان می‌دهد و تابع هدف ششم مشارکت اجتماعی را بیان می‌کند.تابع هدف هفتم زمان های کاری از دست رفته، غیبت کارکنان، حوادث شغلی و شکایات را مینیمم می‌کند.

محدودیت (۸) ظرفیت تولید محصول در هر دوره، محدودیت(۹) تضمین می‌کند که مجموع محصول تحویل به مشتری کم‌تر یا مساوی با ظرفیت تولید محصول باشد، محدودیت (۱۰) برآورده نمودن تقاضای مشتری، محدودیت (۱۱) ترکیب مواد اولیه جهت تولید هر واحد محصول، محدودیت (۱۲) ظرفیت تامین-کنندگان انتخاب شده جهت تامین مواد اولیه، محدودیت (۱۳) سطح آموزش پرسنل، محدودیت(۱۴) سطح اشتغال در هر دوره، محدودیت (۱۵) حداکثر مشارکت اجتماعی، محدودیت (۱۶) فضای سبز کارخانه، محدودیت (۱۷) حداکثر تشویق در کارخانه، محدودیت(۱۸) و (۱۹) زمان‌های کاری از دست‌رفته و غیبت کارکنان و محدودیت های (۲۰) و (۲۱) به ترتیب حوادث شغلی و تعداد شکایات را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

۳-۵- ٤ مفروضات و روش حل پیشنهادی

برای حل مدل ایجاد شده در مرحله قبل، از دو مدل مهم پایداری که در بخش‌های قبلی در مورد خصوصیات و علت انتخاب آن‌ها صحبت شد، به عنوان مبنای اجرا استفاده می‌گردد. این دو مدل هر کدام شرایط و خصوصیات مربوط به خود را دارد که باید در حل مدل نیز در نظر گرفته شود. روش حل در ادامه برای هر کدام از مدل‌ها توضیح داده شده است. در هر دو روش مدل ایجاد شده یک مدل فازی می‌باشد که برای حل، به مدل قطعی معادل تبدیل می‌گردد. روش تبدیل در ادامه ارایه شده است،

الف- حل بر اساس مدل سود سه‌گانه

پس از اینکه مدل مطابق روش قبل ساخته شد، با در نظر گرفتن اولویت به‌دست آمده بر اساس روش دنپ برای کل اهداف سه‌گانه، در ابتدا مدل بر اساس تابع هدف با بالاترین اولویت اجرا شده و این روش برای بقیه توابع نیز دنبال می‌گردد. با توجه به اینکه در مدل سود سه‌گانه ابعاد اقتصادی، اجتماعی و محیطی به‌طور مجزا در نظر گرفته نمی‌شوند و به‌دنبال فصل مشترک این ابعاد هستیم، توابع هدف با هم در نظر گرفته شده و بر اساس ترتیب اوزان آن‌ها مدل اجرا می‌گردد تا ضمن بهینه‌سازی توابع، نقطه مشترکی که تمام ابعاد را نیز پوشش دهد، به‌دست آید.

ب- حل بر اساس مدل آشیانه‌ای

در این مرحله، مدل ساخته‌شده، بر اساس ویژگی و خصوصیت مدل آشیانه‌ای که در بخش‌های قبل در مورد آن صحبت شد، اجرا می‌گردد. برای این کار در مرحله اول مدل به انضمام محدودیت‌ها با تابع هدف اقتصادی در نظر گرفته شده و مطابق روش پیشنهادی در قسمت بعد حل می‌گردد. در مرحله دوم تابع هدف اقتصادی به عنوان محدودیت در نظر گرفته شده و مدل با اولویت بندی توابع هدف اجتماعی اجرا می‌گردد. در مرحله سوم مدل با اولویت بندی توابع هدف محیطی اجرا می‌گردد. مدل ریاضی در هر بخش خود یک مدل برنامه‌ریزی صحیح مختلط چند هدفه می‌باشد که توابع هدف نیز دارای اولویت اجرا می‌باشند. کد برنامه در نرم افزار GAMS طراحی و بدین ترتیب مدل در سه مرحله حل می‌گردد.

این تحقیق در شرکت فرآورده‌های نسوز ایران که یکی از بزرگ‌ترین و با سابقه ترین شرکت‌های نسوز ایران می‌باشد اجرا شده و برای مدل در نظر گرفته شده ۷ نوع محصول شرکت به‌نام‌های آجر سمیرم، آجر الما، آجر رسپین، آجر ایر مگ GR12 FHX، جرم ایر فکست ESLI، جرم ایرفکستH و جرم مگنوگان EA انتخاب و وارد مدل شدند. دوره زمانی در نظر گرفته شده نیز چهار دوره ۳ ماهه می‌باشد.

۳-۵- ۵ مدل قطعی معادل

برای تبدیل مدل مساله که شامل ضرایب غیر دقیق هم در تابع هدف و هم در محدودیت‌ها است، به مدل قطعی معادل از روش خمینز و همکاران[1](۲۰۰۷) استفاده شده است[۹۳]. فرض کنید که $\tilde{c} = (c^p, c^m, c^o)$ یک عدد فازی مثلثاتی باشد، آنگاه تابع عضویت آن $\mu_{\tilde{c}}(x)$ به صورت زیر است.

[1] Jimenez et al.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

$$\mu_{\tilde{c}}(x)=\begin{cases} f_c(x)=\dfrac{x-c^p}{c^m-c^p} & if \quad c^p\le x\le c^m \\ ۱ & if \quad x=c^m \\ g_c(x)=\dfrac{c^o-x}{c^o-c^m} & if \quad c^m\le x\le c^o \\ ۰ & if\ x<c^p or \quad x>c^o \end{cases} \tag{۲۴}$$

همچنین بازه مورد انتظار (EI) و مقدار مورد انتظار (EV) عدد فازی مثلثی به صورت زیر تعریف می‌شوند [۹۴].

$$EI(\tilde{c})=\left[E_۱^c,E_۲^c\right]=\left[\int_۰^۱ f_c^{-۱}(x)dx,\int_۰^۱ g_c^{-۱}(x)dx\right]=\left[\frac{c^p+c^m}{۲},\frac{c^m+c^o}{۲}\right] \tag{۲۵}$$

$$EV(\tilde{c})=\frac{E_۱^c+E_۲^c}{۲}=\frac{c^p+۲c^m+c^o}{۴} \tag{۲۶}$$

حال مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی زیر را که درآن همه پارامترها به صورت فازی تعریف شده‌اند، در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} &Min\ z=\tilde{c}x \\ &s.t. \quad \tilde{a}_i x\ge\tilde{b}_i,\quad i=۱,۲,...,I, \\ &\quad\ \tilde{a}_i x=\tilde{b}_i,\quad i=۱+I,۲,...,m, \\ &\quad\ x\ge ۰. \end{aligned} \tag{۲۷}$$

مطابق با روش رتبه‌بندی خمینز برای هر جفت از اعداد فازی $\tilde{a}$ و $\tilde{b}$، درجه بزرگ‌تر بودن $\tilde{a}$ از $\tilde{b}$ با رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود.

$$\mu_M(\tilde{a},\tilde{b})=\begin{cases} ۰ & if\ E_۲^a-E_۱^a<۰ \\ \dfrac{E_۲^a-E_۱^b}{E_۲^a-E_۱^b-(E_۱^a-E_۲^b)} & if \quad ۰\in\left[E_۱^a-E_۲^b,E_۲^a-E_۱^b\right] \\ ۱ & if\ E_۱^a-E_۲^b>۰ \end{cases} \tag{۲۸}$$

$\mu_M(\tilde{a},\tilde{b})$ نشان‌دهنده درجه بزرگ‌تر بودن $\tilde{a}$ از $\tilde{b}$ است و هنگامی که $\mu_M(\tilde{a},\tilde{b})\ge\alpha$ باشد، گفته می‌شود که "$\tilde{a}$ حداقل با درجه α بزرگ‌تر یا مساوی $\tilde{b}$ " است و به صورت $\tilde{a}\ge_\alpha\tilde{b}$ نمایش داده می‌شود. علاوه بر این، برای هر جفت اعداد فازی $\tilde{a}$ و $\tilde{b}$ گفته می‌شود" $\tilde{a}$ با درجه α با $\tilde{b}$ برابر است" اگر دو نامساوی زیر همزمان برقرار باشند.

$$\tilde{a}\ge_{\alpha/۲}\tilde{b},\qquad \tilde{a}\le_{\alpha/۲}\tilde{b} \tag{۲۹}$$

با بازنویسی رابطه فوق داریم:

$$\frac{\alpha}{۲}\le\mu_M(\tilde{a},\tilde{b})\le ۱-\frac{\alpha}{۲} \tag{۳۰}$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

با لحاظ کردن روابط فوق در مدل(۲۷) مدل α پارامتری آن به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$
\begin{aligned}
&Min\ z = EV(\tilde{c})x \\
&s.t. \quad \left[(1-\alpha).E_2^{a_i} + \alpha.E_1^{a_i}\right]x \geq \alpha.E_2^{b_i} + (1-\alpha).E_1^{b_i} \quad i = 1,2,...,m \\
&\left[(1-\frac{\alpha}{2}).E_2^{a_i} + \frac{\alpha}{2}.E_1^{a_i}\right]x \geq \frac{\alpha}{2}.E_2^{b_i} + (1-\frac{\alpha}{2}).E_1^{b_i} \quad i = 1,2,...,m \\
&\left[\frac{\alpha}{2}.E_2^{a_i} + (1-\frac{\alpha}{2}).E_1^{a_i}\right]x \leq (1-\frac{\alpha}{2}).E_2^{b_i} + \frac{\alpha}{2}.E_1^{b_i} \quad i = 1,2,...,m \\
&x \geq 0
\end{aligned}
\qquad (۳۱)
$$

در این مدل چنانچه $\alpha = 0/5$ باشد مدل به‌دست آمده با حالت قطعی یکسان خواهد بود.

مطابق با آنچه که در قسمت قبل توضیح داده شد، می‌توانیم مدل قطعی کمکی معادل مساله اصلی را به صورت زیر فرمول‌بندی کنیم. ممکن است تعداد محدودیت‌های مساله کمکی معادل از تعداد محدودیت‌های مساله اصلی بیش‌تر باشد و آن به خاطر این است که هر محدودیت مساوی در مدل اصلی به دو محدودیت نامساوی در مدل کمکی معادل تبدیل می‌گردد. این مدل با توجه به روش‌های توضیح داده شده در بخش(۳-۵-۴) حل می‌گردد.

مدل قطعی معادل به شرح زیر است:

$$Max\ \ z_1 = \sum_j \sum_t \frac{\mathrm{Pr}ofit_{jt}^p + 2\,\mathrm{Pr}ofit_{jt}^m + \mathrm{Pr}ofit_{jt}^o}{4}.MP_{jt} \qquad (۳۲)$$

$$Min\ \ z_2 = \sum_j \sum_t \frac{Co_{jt}^p + Co_{jt}^m + Co_{jt}^o}{4}.MP_{jt} + \sum_j \sum_t \frac{Poll_{jt}^p + Poll_{jt}^m + Poll_{jt}^o}{4}.MP_{jt} \qquad (۳۳)$$

$$Min\ \ z_3 = \sum_j \sum_t \frac{EA_{jt}^p + EA_{jt}^m + EA_{jt}^o}{4}.MP_{jt} \qquad (۳۴)$$

$$Max\ \ z_4 = \sum_t \frac{Green_t^p + Green_t^m + Green_t^o}{4} \qquad (۳۵)$$

$$Max\ \ z_5 = \sum_t \frac{Desh_t^p + Desh_t^m + Desh_t^o}{4} + \frac{EduEmp_t^p + EduEmp_t^m + EduEmp_t^o}{4} + \frac{Ntash_t^p + Ntash_t^m + Ntash_t^o}{4} \qquad (۳۶)$$

$$Max\ \ z_6 = \frac{Social_t^p + Social_t^m + Social_t^o}{4} \qquad (۳۷)$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

$$Min \quad z_{۷} = \sum_{t} \frac{LoseTime_t^p + LoseTime_t^m + LoseTime_t^o}{۴} + \frac{AbsTime_t^p + AbsTime_t^m + AbsTime_t^o}{۴} \qquad (۳۸)$$
$$+ \frac{AcJob_t^p + AcJob_t^m + AcJob_t^o}{۴} + \frac{EnvComplain_t^p + EnvComplain_t^m + EnvComplain_t^o}{۴}$$

$s.t.$

$$MP_{jt} \le \alpha \frac{MCap_{jt}^p + MCap_{jt}^m}{۲} + (۱-\alpha) \frac{MCap_{jt}^m + MCap_{jt}^o}{۲} \qquad \forall j,t, \quad (۳۹)$$

$$\sum_k MPC_{jkt} \le MP_{jt} \qquad \forall j,t, \quad (۴۰)$$

$$MPC_{jkt} \ge (۱-\alpha) \frac{MDem_{jkt}^p + MDem_{jkt}^m}{۲} + \alpha \frac{MDem_{jkt}^m + MDem_{jkt}^o}{۲} \qquad \forall j,k,t, \quad (۴۱)$$

$$\sum_i \sum_s X_{ist} \ge \sum_j Useper.MP_{jt} \qquad \forall t, \quad (۴۲)$$

$$X_{ist} \le N_{st}.\left[\alpha \frac{MaxSupp_i^p + MaxSupp_i^m}{۲} + (۱-\alpha) \frac{MaxSupp_i^m + MaxSupp_i^o}{۲} \right] \qquad \forall i,s,t, \quad (۴۳)$$

$$EduEmp_t \le Desh_t \qquad \forall t, \quad (۴۴)$$

$$Desh_t <= \alpha \frac{MaxDesh_t^p + MaxDesh_t^m}{۲} + (۱-\alpha) \frac{MaxDesh_t^m + MaxDesh_t^o}{۲} \qquad \forall t, \quad (۴۵)$$

$$Social_t \le \alpha \frac{MaxSocial_t^p + MaxSocial_t^m}{۲} + (۱-\alpha) \frac{MaxSocial_t^m + MaxSocial_t^o}{۲} \qquad \forall t, \quad (۴۶)$$

$$Green_t \le \alpha \frac{MaxGreen_t^p + MaxGreen_t^m}{۲} + (۱-\alpha) \frac{MaxGreen_t^m + MaxGreen_t^o}{۲} \qquad \forall t, \quad (۴۷)$$

$$Ntash_t \le \left[\alpha \frac{\lambda_t^p + \lambda_t^m}{۲} + (۱-\alpha) \frac{\lambda_t^m + \lambda_t^o}{۲} \right] Desh_t \qquad \forall t, \quad (۴۸)$$

$$LoseTime_t \le \alpha \frac{MaxLT_t^p + MaxLT_t^m}{۲} + (۱-\alpha) \frac{MaxLT_t^m + MaxLT_t^o}{۲} \qquad \forall t, \quad (۴۹)$$

$$AbsTime_t \le \alpha \frac{MaxAbs_t^p + MaxAbs_t^m}{۲} + (۱-\alpha) \frac{MaxAbs_t^p + MaxAbs_t^m}{۲} \qquad \forall t, \quad (۵۰)$$

$$JobAcc_t \le \left[\alpha \frac{\beta_t^p + \beta_t^m}{۲} + (۱-\alpha) \frac{\beta_t^p + \beta_t^m}{۲} \right].Desh_t \qquad \forall t, \quad (۵۱)$$

$$EnvComplain_t \le \alpha \frac{MaxEC_t^p + MaxEC_t^m}{۲} + (۱-\alpha) \frac{MaxEC_t^m + MaxEC_t^o}{۲} \qquad \forall t, \quad (۵۲)$$

$$N_{st} \in (۰,۱) \qquad (۵۳)$$

$$MP_{jt}, X_{ist}, Green_t, Desh_t, EduEmp_t, Social_t, NTash_t, LoseTime_t, AbsTime_t, \qquad (۵۴)$$
$$AcJob_t, EnvComp_t \ge ۰, \qquad \forall t.$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

٤ نتایج حل مدل

جواب‌های حاصل از حل مدل مطابق روش بیان شده و به ازای αهای مختلف در جداول زیر نشان داده شده است. برای سایر α هایی که ذکر نشده مساله نشدنی است و علت آن نیز این است که برای $\alpha > ۰.۵$ برخی محدودیت‌های مساله با مشکل مواجه شده و در تناقض با یکدیگر قرار می‌گیرند. نظر به اینکه تعداد متغیرهای مدل از جمله محصولات در هر دوره، تامین‌کنندگان و مقدار هر یک از مواد اولیه خریداری شده در هر دوره، متغیرهای زیست محیطی و اجتماعی زیاد می‌باشد از آوردن مقادیر این متغیرها خودداری شده است.

از موارد تشابهی که در این دو جدول می‌توان مشاهده کرد این است که با افزایش مقدار α مقادیر توابع هدف کاهش می‌یابد که این روند برای تمام توابع نیز وجود دارد. با توجه به این‌که مدل در حالت قطعی نیز حل شد به ازای $\alpha = ۰.۵$ مقادیر توابع هدف در حالت های قطعی و فازی باهم برابر است؛ ولی به ازای αهای دیگر بین مقادیر توابع هدف در حالت‌های قطعی و فازی اختلاف وجود دارد که آن اهمیت لحاظ کردن عدم قطعیت در مدل را نشان می‌دهد.

با بررسی داده‌های دو جدول می‌توان دریافت که سود شرکت در مدل آشیانه‌ای بیش‌تر از مدل سود سه‌گانه است و همچنین مقادیر توابع دوم و سوم یعنی آلاینده‌ها و انرژی تقریبا در دو مدل یکسان و تابع فضای سبز و مقادیر توابع اجتماعی شامل توابع ۵، ۶ و ۷ در دو مدل نیز تغییری نداشته است. این موضوع نشان می‌دهد با توجه به اینکه خروجی توابع محیطی تقریبا یکسان است و توابع اجتماعی نیز تغییری نداشته است، سودآوری در مدل سود سه‌گانه دارای کاهش می‌باشد. در هر دو مدل مقدار تابع ۷ که شامل زمان‌های کاری از دست رفته، غیبت، حوادث شغلی و شکایات می‌باشد در حداقل ممکن است و از این لحاظ عملکرد کارخانه بسیار مطلوب بوده است. خروجی نرم افزار به ازای مقادیر مختلف الفا نشان می‌دهد که ترکیب تولید در مدل سه‌گانه متفاوت از مدل آشیانه‌ای است و جهت دستیابی به این ترکیب تولید مقادیر یکسانی از متغیرهای محیطی و اجتماعی صرف شده ولی به سود کمتری دست یافته‌ایم. این نتایج برتری مدل آشیانه‌ای را نشان داده و استفاده از آن را توصیه می‌کند.

جدول ۷. نتایج حل بر اساس مدل سود سه‌گانه

α	T	$z_۱$	$z_۲$	$z_۳$	$z_۴$	$z_۵$	$z_۶$	$z_۷$
./۱	۱	۳۷۳۱۴۴۷۹۸۰۰	۴۱۴۲۲۷۸۸۹۶	۲۱۱۷۶۹۴۶۵۲	۴۸۳۳۶	۷۲۹	۴۰۰۹۲۶۹۸	۰
	۲	۳۹۰۱۹۹۲۵۲۸۰	۳۲۶۹۰۹۰۱۲۴	۱۶۷۸۷۰۴۸۹۳	۴۸۳۳۶	۶۸۷	۱۱۴۵۳۷۹۴۲	۰
	۳	۵۸۱۱۸۹۶۸۱۰۰	۳۲۰۹۱۸۴۶۰۲	۱۶۶۹۴۳۹۵۱۷	۴۸۳۳۶	۶۷۶	۴۲۰۲۶۳۱۴۲	۰
	۴	۶۶۵۳۳۶۹۹۰۰۰	۳۷۵۶۳۰۳۴۷۱	۲۱۴۵۰۷۵۳۹۴	۴۸۳۳۶	۷۵۱	۴۸۴۷۱۱۱۴۲	۰
./۲	۱	۳۷۱۲۴۲۷۲۳۵۰	۴۱۳۷۵۹۹۳۸۲	۲۱۱۲۴۵۷۶۹۷	۴۸۱۹۲	۷۲۶	۳۹۹۷۳۲۵۶	۰
	۲	۳۸۸۱۱۳۷۸۹۶۰	۳۲۵۸۰۱۷۳۴۳	۱۶۷۳۲۶۴۱۴۷	۴۸۱۹۲	۶۸۶	۱۱۴۱۹۶۷۱۷	۰
	۳	۵۷۸۱۶۵۳۶۷۵۵	۳۲۰۵۵۱۷۵۵۸	۱۶۶۹۲۰۴۹۵۰	۴۸۱۹۲	۶۷۳	۴۱۹۰۱۱۱۱۷	۰
	۴	۶۵۹۳۶۹۵۲۳۸۵	۳۷۳۰۷۰۸۲۸۵	۲۱۳۶۳۲۳۲۳۹	۴۸۱۹۲	۷۴۸	۴۸۳۲۶۷۱۱۷	۰
	۱	۳۶۹۱۴۰۶۴۹۰۰	۴۱۱۴۶۷۹۱۵۸	۲۱۰۷۲۲۰۷۴۱	۴۸۰۴۸	۷۲۴	۳۹۸۵۳۸۱۴	۰
	۲	۳۸۶۱۲۸۳۲۶۴۰	۳۲۴۶۹۴۴۵۶۲	۱۶۷۱۱۸۶۷۴۷	۴۸۰۴۸	۶۸۱	۱۱۳۸۵۵۴۹۱	۰

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

۰	۴۱۷۷۵۹۰۹۱	۶۶۹	۴۸۰۴۸	۱۶۶۴۱۴۰۵۶۹	۳۱۸۰۶۳۴۴۲۸	۵۷۵۲۶۷۷۷۰۸۲	۳	./۳
۰	۴۸۱۸۲۳۰۹۱	۷۴۵	۴۸۰۴۸	۲۱۲۵۴۷۱۰۶۱	۳۷۰۵۱۳۸۳۸۲	۶۵۲۰۴۱۳۰۱۴۷	۴	
۰	۳۹۷۳۴۳۷۲	۷۲۱	۴۷۹۰۴	۲۱۰۱۹۸۳۷۸۶	۴۱۰۰۰۵۹۰۳۲	۳۶۷۳۳۸۵۷۴۵۰	۱	
۰	۱۱۳۵۱۴۲۶۶	۶۸۰	۴۷۹۰۴	۱۶۶۷۴۲۷۶۷۳	۳۲۳۲۶۲۲۹۱۴	۳۸۴۱۴۲۸۶۳۲۰	۲	./۴
۰	۴۱۶۵۰۷۰۶۶	۶۶۶	۴۷۹۰۴	۱۶۵۹۰۷۶۱۸۶	۱۹۰۶۸۴۳۱۸۶	۵۷۱۵۷۰۱۷۳۷۷	۳	
۰	۴۸۰۳۷۹۰۶۶	۷۴۲	۴۷۹۰۴	۲۱۱۴۷۷۵۲۶۲	۳۶۹۲۱۳۶۰۶۳	۶۴۳۴۹۳۱۸۱۲۷	۴	
۰	۳۹۶۱۴۹۳۰	۷۱۸	۴۷۷۶۰	۲۰۹۸۸۵۱۹۹۸	۴۰۹۳۶۵۰۸۴۴	۳۶۵۲۳۶۵۰۰۰۰	۱	./۵
۰	۱۱۳۱۷۳۰۴۱	۶۷۸	۴۷۷۶۰	۱۶۶۳۶۶۸۶۰۰	۳۲۲۱۵۶۱۲۵۰	۳۸۲۱۵۷۴۰۰۰۰	۲	
۰	۴۱۵۲۵۵۰۴۱	۶۶۰	۴۷۷۶۰	۱۶۵۴۰۱۱۸۰۶	۳۱۴۶۸۸۸۳۳۹	۵۶۸۳۷۲۵۷۷۰۵	۳	
۰	۴۷۸۹۳۵۰۴۱	۷۳۹	۴۷۷۶۰	۲۱۰۱۹۸۵۲۹۳	۳۶۷۱۸۵۲۸۹۹	۶۳۵۲۹۵۷۱۴۱۴	۴	

جدول ۸. نتایج حل مدل مطابق مدل آشیانه‌ای

α	T	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7
	۱	۳۷۴۴۵۲۴۷۸۰۰	۴۱۴۹۷۴۳۱۲۵	۲۱۲۲۱۹۹۴۵۰	۴۸۳۳۶	۷۲۹	۴۰۰۹۲۶۹۸	۰
	۲	۳۹۱۳۳۹۰۰۰۸۰	۳۲۷۲۲۱۹۰۰۰	۱۶۸۲۴۴۶۶۸۰	۴۸۳۳۶	۶۸۷	۱۱۴۵۳۷۹۴۲	۰
./۱	۳	۵۸۲۰۰۷۶۸۵۷۵	۳۲۱۸۸۴۱۱۲۵	۱۶۷۲۸۲۸۶۶۰	۴۸۳۳۶	۶۷۶	۴۲۰۲۶۳۱۴۲	۰
	۴	۶۶۶۲۹۵۱۴۳۳۵	۳۷۶۳۶۰۶۲۹۰	۲۱۵۰۶۹۰۱۵۵	۴۸۳۳۶	۷۵۱	۴۸۴۷۱۱۱۴۲	۰
	۱	۳۷۲۵۴۴۴۸۳۵۰	۴۱۴۵۰۴۹۵۳۱	۲۱۲۰۹۴۱۴۶۳	۴۸۱۹۲	۷۲۶	۳۹۹۷۳۲۵۶	۰
	۲	۳۸۹۳۴۷۹۵۰۶۰	۳۲۶۱۱۰۱۷۵۰	۱۶۸۱۶۷۲۵۱۰	۴۸۱۹۲	۶۸۶	۱۱۴۱۹۶۷۱۷	۰
./۲	۳	۵۷۹۳۸۲۰۴۰۲۴	۳۲۱۵۱۶۳۰۴۷	۱۶۷۵۹۰۸۵۸۴	۴۸۱۹۲	۶۷۳	۴۱۹۰۱۱۱۱۷	۰
	۴	۶۶۰۶۲۰۵۹۸۰۹	۳۷۳۵۶۹۱۰۴۹	۲۱۴۴۹۰۲۸۵۰	۴۸۱۹۲	۷۴۸	۴۸۳۲۶۷۱۱۷	۰
	۱	۳۷۰۶۳۶۴۸۹۰۰	۴۱۳۵۳۵۵۹۳۸	۲۱۱۵۶۸۳۴۷۵	۴۸۰۴۸	۷۲۴	۳۹۸۵۳۸۱۴	۰
	۲	۳۸۷۳۵۶۹۰۰۴۰	۳۲۵۹۹۸۴۵۰۰	۱۶۷۷۸۹۸۳۴۰	۴۸۰۴۸	۶۸۱	۱۱۳۸۵۵۴۹۱	۰
./۳	۳	۵۷۶۰۷۷۱۶۴۴۷	۳۱۹۶۶۱۷۵۱۶	۱۶۷۰۸۲۳۸۶۴	۴۸۰۴۸	۶۶۹	۴۱۷۷۵۹۰۹۱	۰
	۴	۶۵۲۸۸۶۱۳۸۷۹	۳۷۲۳۷۵۷۱۶۸	۲۱۳۴۰۰۷۰۸۹	۴۸۰۴۸	۷۴۵	۴۸۱۸۲۳۰۹۱	۰
	۱	۳۶۸۷۲۸۴۹۴۵۰	۴۱۲۰۶۶۲۳۴۴	۲۱۱۰۴۲۵۴۸۸	۴۷۹۰۴	۷۲۱	۳۹۷۳۴۳۷۲	۰
	۲	۳۸۵۳۶۵۸۵۰۲۰	۳۲۴۸۸۶۷۲۵۰	۱۶۷۴۱۲۴۱۷۰	۴۷۹۰۴	۶۸۰	۱۱۳۵۱۴۲۶۶	۰
./۴	۳	۵۷۲۷۷۲۲۸۸۳۹	۳۱۷۸۰۷۱۹۷۷	۱۶۶۵۷۳۹۱۴۳	۴۷۹۰۴	۶۶۶	۴۱۶۵۰۷۰۶۶	۰
	۴	۶۴۴۷۳۳۲۰۴۱۶	۳۷۰۳۲۴۵۸۰۰	۲۱۲۳۲۶۸۳۳۵	۴۷۹۰۴	۷۴۲	۴۸۰۳۷۹۰۶۶	۰
	۱	۳۶۶۸۲۰۵۰۰۰۰	۴۱۰۲۹۶۸۷۵۰	۲۱۰۵۱۶۷۵۰۰	۴۷۷۶۰	۷۱۸	۳۹۶۱۴۹۳۰	۰
./۵	۲	۳۸۳۳۷۴۸۰۰۰۰	۳۲۳۱۷۵۰۰۰۰	۱۶۷۰۳۵۰۰۰۰	۴۷۷۶۰	۶۷۸	۱۱۳۱۷۳۰۴۱	۰
	۳	۵۶۹۴۶۷۴۱۲۶۲	۳۱۵۳۵۲۶۴۴۵	۱۶۶۰۶۵۴۴۲۴	۴۷۷۶۰	۶۶۰	۴۱۵۲۵۵۰۴۱	۰
	۴	۶۳۶۵۳۱۰۸۹۷۸	۳۶۷۲۹۰۱۶۰۴	۲۱۱۲۵۴۸۰۳۳	۴۷۷۶۰	۷۳۹	۴۷۸۹۳۵۰۴۱	۰

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق با توجه به اهمیت بحث پایداری در زنجیره‌تامین، به بررسی مفاهیم پایداری، مدل‌های پایداری، انعطاف‌پذیری و رقابت در زنجیره‌تامین و مرور برخی تحقیقات انجام شده در خصوص مدل‌سازی زنجیره‌تامین پایدار پرداخته شد. با مرور مدل‌های موجود در بحث پایداری، سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی به عنوان ابعاد پایداری در نظر گرفته شد و مدل آشیانه‌ای با توجه به ویژگی خاص آن که به ابعاد اجتماعی و زیست محیطی اهمیت بیشتری می‌دهد و این ابعاد در حال حاضر مورد توجه ویژه کشورها و سازمان‌ها می‌باشد و همچنین مدل سود سه‌گانه که به‌دنبال فصل مشترک سه بعد پایداری است، جهت مدل‌سازی انتخاب گردید. بر اساس بررسی‌ها، بهترین مدل برای اندازه گیری رقابت‌پذیری زنجیره های تامین و متعاقب آن شناخت عملکرد فعلی و موقعیت رقابتی زنجیره‌های تامین، مدل مرجع عملیات‌های زنجیره‌تامین(SCOR) می‌باشد که از مجمع زنجیره‌تامین(SCC) ایجاد شده است که در این تحقیق از این مدل جهت لحاظ نمودن رقابت‌پذیری زنجیره‌تامین استفاده شد. شاخص‌ها و سنجه‌های پایداری برمبنای این مدل و همچنین منابع مختلف پایداری استخراج و با روش دلفی جهت صنعت مورد بررسی، بومی‌سازی گردید. برای تعیین ارتباط و اهمیت شاخص‌ها و تاثیر آن در توابع هدف مدل از روش های دنپ و دیمتل استفاده شد. همچنین حالت های مختلف عدم قطعیت تشریح و با توجه به ماهیت مساله، مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی برای مدل کردن مساله انتخاب گردید و مدل ضمن در نظر گرفتن اولویت اهداف در دو روش و با مراحل مختلف حل شد.

برای نشان‌دادن اعتبار و عملی بودن مدل و همچنین رویکرد حل یک مثال واقعی از صنعت نسوز ارایه شده است. با بررسی جواب‌های به‌دست آمده مشاهده می‌گردد مقادیر توابع هدف به ازای الفاهای مختلف متفاوت بوده و با افزایش الفا، کاهش می‌یابد که این موضوع اهمیت روش انتخابی و عدم قطعیت در مدل و لحاظ نمودن آن را نشان می‌دهد. مقایسه دو مدل آشیانه‌ای و سود سه‌گانه نیز بر اساس خروجی توابع هدف کارایی مدل آشیانه‌ای را نشان می‌دهد. از نکات بارز این تحقیق همچنین به صحیح و قابل قبول بودن نتایج برای صنعت مورد نظر و ارایه گزارش پایداری می‌توان اشاره کرد.

با توجه به اینکه شدت رقابت در صنایع نسوز بالا رفته است، توجه به مباحث پایداری و اندازه‌گیری پایداری می‌تواند موقعیت شرکت‌های نسوز را بهبود بخشیده و به رشد سهم بازار آنها کمک نماید. ارایه یک گزارش پایداری بر مبنای مدل مطرح شده می‌تواند باعث بهبود عملکرد شرکت و ضمن برآورده ساختن شاخص‌های اجتماعی و محیطی باعث افزایش فروش و سود گردد. با توجه به مدل مطرح شده توصیه می‌شود شرکت‌ها در ابعاد مطرح شده برنامه‌ای مدون داشته باشند و با اجرای دوره‌ای مدل پایداری طراحی شده، گزارش‌های پایداری را تدوین نمایند. آوردن ابعاد زیست محیطی و اجتماعی با اولویت مدل بررسی شده در این تحقیق می‌تواند به موفقیت سازمان کمک نماید. برای بهبود بعد اقتصادی تحویل به موقع محصول، افزایش کیفیت، اصلاح شیوه های حمل و نقل مواد در فرایند تولید و بهبود ساختار هزینه شرکت توصیه می‌گردد. برای بهبود بعد اجتماعی، توجه به آموزش کارکنان، برنامه تشویق و ثبات در شغل و افزایش رضایت مندی پرسنل توصیه می‌شود. در شرکت مورد مطالعه شاخص های اجتماعی مناسب بوده که نشان از توجه شرکت به این بخش ها دارد. در بعد

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

زیست محیطی کاهش صدای کوره ها، بهبود مصرف انرژی کوره ها، کاهش گرد و غبار کارگاه و افزایش فضای سبز کارخانه در صورت امکان با توجه به زمین کارخانه، توصیه می‌شود.

برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد:

- مدل ریاضی بر مبنای سایر مدل‌های پایداری از جمله مدل مرزهای شکست نیز تدوین و با نتایج مدل این تحقیق مقایسه گردد.
- از رویکردهای دیگر بیان شده در بخش رقابت و عدم قطعیت نیز با ترکیب مدل‌های پایداری استفاده گردد.
- مدل ریاضی فازی با استفاده از سایر روش ها نیز حل گردد و با نتایج روش این تحقیق مقایسه گردد.
- از این روش جهت مدل سازی یک زنجیره‌تامین پایدار حلقه بسته نیز استفاده گردد.

منابع

[۲۶] سلیمانی سدهی، مجتبی، غفاری نسب، نادر،(۱۳۹۲). مدیریت زنجیره‌تامین(مدل‌های مرجع فرایندی، شاخص های عملکردی و نرم افزاری)، چاپ اول، موسسه مطالعات و پژوهش های بازرگانی.

[۶۷] آذر، عادل، موسوی، سید فاضل،(۱۳۹۳). طراحی مدل احتمالی و استوار یکپارچه سه مرحله‌ای برای انتخاب تامین‌کننده با رویکرد عدم قطعیت، مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال یازدهم، شماره اول، ۱۸-۱.

[۷۷] مرادی، محمود، صلاحی، مازیار، بردسیری، مرضیه، جمالیان، علی،(۱۳۹۳). یک مدل جدید استوار در طراحی شبکه زنجیره ی تامین تحت عدم قطعیت، مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال یازدهم، شماره دوم، ۲۶-۹.

[1] Seuring, S., Muller, M., (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management, Journal of Cleaner Production, 16 (15), 1699-1710.

[2] Seuring, S., Sarkis, J., Muller, M., Rao, P., (2008). Sustainability and supply chain management: an introduction to the special issue, Journal of Cleaner Production, 16(14), 1545-1551.

[3] Seuring, S., Gold, S., (2013). Sustainability management beyond corporate boundaries: from stakeholders to performance, Journal of Cleaner Production, 56(1), 1-6.

[4] Tseng, S.C., Hung, S.W., (2014). A strategic decision making model considering the social costs of carbon dioxide emissions for sustainable supply chain management, Journal of Environmental Management, 133, 315-322.

[5] Christopher, M., (2011). Logistic and Supply Chain Management: creating value-adding networks, Fourth edition, London, Prentice Hall.

[6] Simchi Levi, D., Kaminsky, P., SimchiLevi, E., (2004). Managing in the supply chain, McGraw-Hill.

[7] Baud-Lavigne, B., Agard, B., Penz, B., (2014). Environmental constraints in joint product and supply chain design optimization, Computers & Industrial Engineering, 76(2014), 16–22.

[8] Hassini, E., Surti, C., Searcy, C., (2012). A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics, International Journal of Production Economics, 140(2012), 69–82.

[9] Masoumik, S.M., Abdul-Rashid, S.H., Olugu, E.U., Raja Ghazilla, R.A., (2014). Sustainable supply chain design: A configurational approach, The Scientific World Journal, v. 2014.

[10] Williams, A., Kennedy, S., Philipp, F., Whiteman, G., (2017). Systems thinking: A review of sustainability management research, Journal of Cleaner Production, 148, 866–881.

[11] Fazli, S., Mavi, R.K., Vosooghidizaji, M., (2015). Crude oil supply chain risk management with DEMATEL–ANP, Operational Research International Journal, 15(3), 453–480.

[12] Govindan, K., Fattahi, M., Keyvanshokooh, E., (2017). Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions, European Journal of Operational Research, 236, 108-141.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

[13] Barbosa-Póvoa, A., Silva, C., Carvalho, A., (2018). Opportunities and Challenges in Sustainable Supply Chain: An Operations Research Perspective, European Journal of Operational Research, 268(2), 399-431.
[14] Elkington, J., (1998). Accounting for the triple bottom line, Measuring Business Excellence, 2(3), 18 – 22.
[15] Venkatraman, S., Ravi Nayak, R., (2015). Corporate sustainability: an IS approach for integrating triple bottom line elements, Social Responsibility Journal, 11(3), 482 – 501.
[16] Giddings, B., Hopwood, B., O'Brien, G., (2002). Environment, economy and society: fitting them together into sustainable development, Sustainable Development, 10(4), 187–196.
[17] Carter, C.R., Rogers, D.S., (2008). A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory, International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 38(5), 360-387.
[18] Mongsawad, P., (2010). The philosophy of the sufficiency economy: A contribution to the theory of development, Asia-Pacific Development Journal 17(1), 123-143.
[19] Wittstruck, W. and Teuteberg, F., (2011).Understanding the Success Factors of Sustainable Supply Chain Management: Empirical Evidence from the Electrics and Electronics Industry, Corporate Social Responsibility and Environmental Management,19(3), 141-158.
[20] Carter, C.R., Easton, P.L., (2011). Sustainable supply chain management: evolution and future directions, International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 41(1), 46-62.
[21] Winkler, H., & Seebacher, G., (2012). Considerations on a contemporary flexibility approach, Research in Logistics & Production, 2(2), 147-161.
[22] Winkler, H., Seebacher, G., (2016).A capability approach to evaluate supply chain flexibility, International Journal of Production Economics,167,177-186.
[23] Lummus, R.R., Vokurka, R.J., Alber, K.L., (1998). Strategic supply chain planning**,** Production and inventory management journal, 39(3), 49-58.
[24] Ponis, S.T., Gayialis, S.P., Tatsipoulos, I.P, Panayiotou, N.A., Stamatiou D.R.I., Ntalla,A.C., (2014). An application of AHP in the development process of a supply chain reference model focusing on demand variability, Operational Research International Journal, 15(3), 337–357.
[25] Wisner, J. D., Tan, K-C., & Leong, G. K., (2012). Principles of supply chain management: a balanced approach (3rd edition). Mason, Ohio: South-Western Cengage Learning.
[27] Weyers, M., (2017). An Application of the Supply Chain Operations Reference Model for the Service Supply Chain for Standardised Back Office Services, Dissertation presented for the degree of Doctor of Philosophy, Faculty of Engineering at Stellenbosch University.
[28] Kalpani, C., Jennifer A., (2018). Systematic mechanism for identifying the relative impact of supply chain performance areas on the overall supply chain performance using SCOR model and SEM, International Journal of Production Economics, 201, 102-115.
[29] Barad, M., Sapir, D.E., (2003). Flexibility in logistic systems - Modeling and performance evaluation, International Journal of Production Economics, 85(2), 155-170.
[30] Duclos, L.K., Vokurka, R.J., Lummus, R.R., (2003). A conceptual model supply chain flexibility, Industrial Management & Data Systems, 103(6), 446-456.
[31] Kara, S., Kayis, B., (2004). Manufacturing flexibility and variability: An overview, Journal of Manufacturing Technology Management, 15(6),466-478.
[32] Sánchez, A.M., PérezPérez, M., (2005). Supply chain flexibilityand firm performance, International Journal of Operations & Production Management, 25(7), 681–700.
[33] Tang, C.S., Tomlin, B., (2008). The Power of Flexibility for Mitigating Supply Chain Risks, International Journal of Production Economics, 116(1), 12-27.
[34] Gong, Z., (2008). An economic evaluation model of supply chain flexibility, European Journal of Operational Research, 184(2), 745–758.
[35] Merschmann,U.,Thonemann,U.W., (2011).Supply chain flexibility,uncertaintyand firm performance, International Journal of Production Economics,130(1),43–53.
[36] Moon, K.K., Yi, C.Y., Nagi, E.W.T., (2012). An instrument for measuring supply chain flexibility for the textile and clothing companies, European Journal of Operational Research, 222(2012), 191-203.
[37] Wang, H., Mastragostino, R., L.E.Swartz, C., (2016). Flexibility analysis of process supply chain network, Computer and Chemical Engineering, 84, 409-421.
[38] Fiksel, J., (2017). Sustainability and resilience: toward a systems approach, Sustainability: Science, Practice and Policy, 2(2), 14-21.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

[39] Pettit, T.j., Fiksel, J., Croxton, K.L. (2008). Can you measure your supply chain resilience, Supply Chain and Logistics Journal, 10 (1), 21-22.
[40] Jüttner, U., Maklan, S., (2011). Supply chain resilience in the global financial crisis: an empirical study,. Supply Chain Management: An International Journal, 16(4), 120-141.
[41] Lengnick-Hall, C. A., Beck, T. E., Lengnick-Hall, M.L., (2011). Developing a capacity for organizational resilience through strategic human resource management, Human Resource Management Review, 21, 243-255.
[42] Pettit, T.J., Croxton, K.L. Fiksel, J., (2013), Ensuring supply chain resilience: development and implementation of an assessment tool, Journal of Business Logistics, 34(1), 46-76.
[43] Soni, U., Jain, V., Kumar, S., (2014). Measuring supply chain resilience using a deterministic modeling approach, Computers & Industrial Engineering, 74, 11-25.
[44] Tukamuhabwa, B. R., Stevenson, M., Busby, J., Zorzini, M., (2015). Supply chain resilience: definition,review and theoretical foundations for further study, International Journal of Production Research, 53(18), 1-32.
[45] Rajesh, R., (2016). Forecasting supply chain resilience performance using grey prediction. Electronic Commerce Research and Applications, 20, 42-58.
[46] Rezapour, S., Zanjirani Farahani, R., Pourakbar, M., (2017). Resilient supply chain network design under competition: A case study, European Journal of Operational Research, 259(3), 1017-1035.
[47] Pishvaee, M.S., Torabi, S.A., (2010). A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty, Fuzzy Sets and Systems, 161, 2668-2683.
[48] Bellman, R.E., Zadeh, L.A., (1970). Decision making in a fuzzy environment, Management Science, 17, 141–164.
[49] El-Sayed, M., Afia, N., El-Kharbotly, A., (2010). A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk, Computers & Industrial Engineering, 58, 423–431.
[50] Wang, R. C., Liang, T. F., (2005). Applying possibilistic linear programming to aggregate production planning, International Journal of Production Economics, 98(3), 328-341.
[51] Dubois, D., Fargier, H., Fortemps, P. (2003). Fuzzy scheduling: modelling flexible constraints vs. coping with incomplete knowledge, European Journal of Operational Research, 147, 231–252.
[52] Baykasoglu, A., Göçken, T., (2008). A review and classification of fuzzy mathematical programs, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 19(3), 205-229.
[53] Tsao, Y., Thanh, V., Lu, J., Yu, V., (2018). Designing Sustainable Supply Chain Networks under Uncertain Environments: Fuzzy Multi-objective Programming, Journal of Cleaner Production, 174, 1550-1565.
[54] Wang, H.F., Hsu, H.W., (2012). A possibilistic approach to the modeling and resolution of uncertain closed-loop logistics, Fuzzy Optimization and Decision Making, 11, 177-208.
[55] Pishvaee, M.S., Razmi, J., (2012). Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming, Applied Mathematical Modelling, 36(8), 3433-3446.
[56] Pishvaee, M.S., Torabi, S.A., Razmi, J., (2012b). Credibility-based fuzzy mathematical programming model for green logistics design under uncertainty, Computer & Industrial Engineering, 62, 624-632.
[57] Pishvaee, M.S., Razmi, J., Torabi, S.A., (2012a). Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach, Fuzzy Sets and Systems, 206, 1-20.
[58] Saffar, M.M., Hamed, S.G., Razmi, J., (2015). A new multi objective optimization model for designing a green supply chain network under uncertainty. International Journal of Industrial Engineering Computations, 6, 15-32.
[59] Chaabane, A., Ramudhin, A., Paquet M., (2012). Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme, International Journal of Production Economics, 135, 37-49.
[60] Mota, B., Carvalho, A., Gomes, M. I., Barbosa-Póvoa, A. P., (2015). Design and planning of sustainable supply chains. In F. You (Ed.), Sustainability of Products, Processes and Supply Chains: Theory and Applications, 36, Elsevier.
[61] Arampantzi C., Minis, L., (2017). A new model for designing sustainable supply chain networks and its application to a global manufacturer, Journal of Cleaner Production, 156, 276-292.
[62] Varsei, M., Polyakovskiy, S., (2017). Sustainable supply chain network design: A case of the wine industry in Australia, Omega, 66, Part B, 236-247.
[63] Mota, B., Gomes, M.I., Carvalho, A., Paula, A., (2018). Sustainable supply chains: an integrated modelling approach under uncertainty, Omega, 77, 32-57.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

[64] Dubey, R., Gunasekaran, A., Papadopoulos, T., Childe, S., Shilde, K.T., Wamba, S.(2017). Sustainable supply chain management: framework and further research directions, journal of cleaner production, 142(2017), 1119-1130.
[65] Sreedevi, R., Saranga, H., (2017). Uncertainty and supply chain risk: The moderating role of supply chain flexibility in risk mitigation, International Journal of Production Economics, 193(2017), 332-342.
[66] Eskandari-Khanghahi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Taleizadeh, A., Hassanzadeh Amin, S., (2018). Designing and optimizing a sustainable supply chain network for a blood platelet bank under uncertainty, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 71, 236–250.
[68] Mir Hassani, S. A., Lucas, C., Mitra, G., Poojari, C. A., (1999). Computational solution of capacity planning model under uncertainty, Parallel Computing Journal, 26, 511–538.
[69] Ahmed, S., King, A. J., Parija, G., (2000). A multi-stage stochastic integer programming approach for capacity expansion under uncertainty, School of Industrial and Systems Engineering. Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA.
[70] Tsiakis, P., Shah, N., Pantelides, C. C., (2001). Design of multiechelon supply chain networks under demand uncertainty, Industrial and Engineering Chemistry Research, 40, 3585–3604.
[71] Gupta, A., Maranas, C.D., (2000). A Two-Stage Modelling and Solution Framework for Multisite Midterm Planning Under Demand Uncertainty, Industrial and Engineering Chemistry Research, 39, 3799–3813.
[72] Gupta, A., Maranas, C. D., (2003). Managing demand uncertainty in supply chain planning, Computer and Chemical Engineering, 27, 1219–1227.
[73] Santoso, T., Ahmed, S., Goetschalckx, M., Shapiro, A., (2005). A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty,. European Journal of operational Research, 167, 96–115.
[74] Azaron, A., Brown, K. N., Tarim, S. A., Modarres, M., (2008). A multi-objective stochastic programming approach for supply chain design considering risk, International Journal of Production Economics, 116, 129–138.
[75] Fleten, S. E., Kristoffersen, T. K., (2008). Short-term hydropower production planning by stochastic programming, Computers & Operations Research, 35, 2656–2671.
[76] Huang, H., Zabinsky, Z.B., Li, Y., Liu, S., (2016). Analyzing hepatitis C screening and treatment strategies using probabilistic branch and bound, WSC '16: Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference, 2076-2086.
[78] Soyster A.L., (1973). Convex programming with set-inclusive constraints and applications to inexact linear programming, Operations Research ,21(5), 1154-1157.
[79] Mulvey, J.M., Vanderbei, R.J., Zenios, S.A., (1995). Robust optimization of large scale systems. Operations Research, 43(2), 264-281.
[80] Ben-Tal, A., Nemirovski, A., (2000). Robust solutions of linear programming problems contaminated with uncertain data, Math program, 88, 411-424.
[81] Bertsimas, D., Sim, M., (2004). The Price of Robustness, Operations research, 52(1), 35–53.
[82] Li, Y.P., Huang, G.H., Nie ,X.H., and Nie, S.L., (2008). A two-Stage fuzzy robust integer programming approach for capacity planning of waste management systems , *European Journal of Operational Research*, 189(2008), 399-420.
[83] Pan, F., Nagi, R., (2010). Robust supply chain design under uncertain demand in agile manufacturing, Computers & Operations Research, 37, 668-683.
[84] Alem, D. J., Morabito, R., (2012). Production planning in furniture settings via robust optimization, Computers & Operations Research, 39(2), 139–150.
[85] Taha, R., Abdallah, k., Sadek, Y., Kharbotly A., Afia, N., (2015). Multi objective supply chain network design under demand uncertainity using robust goal programming approach, Proceedings of the 2015 International Conference on Operations Excellence and Service Engineering, Orlando, Florida, USA, September 10-11.
[86] Zokaee, S., Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., Sadjadi, j., (2017). Robust supply chain network design: an optimization model with real world application, Annal of operations research, 257(1), 15-44.
[87] Global Reporting Initiative., (2016). https://www.globalreporting.org.
[88] Azapagic, A., (2003). Systems approach to corporate sustainability: A general management framework, Process Safety and Environmental Protection, 81(5), 303-316.
[89] Krajnc, D., Glavic, P., (2005). A model for integrated assessment of sustainable development, Resources, Conservation and Recycling, 43, 189-208.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]

[90] Krajnc, D., Glavic, P., (2003). Indicators of sustainable production, Clean Technology Environmental Policy, 5, 279-88.
[91] Chiu, W.Y., Tzeng, G.h., Li, H., (2013). A new hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR to improve e-store business, Knowledge-Based Systems, 37 (2013), 48–61.
[92] Tseng, ML., Lin, YH., (2009). Application of fuzzy DEMATEL to develop a cause and effect model of municipal solid waste management in Metro Manila, Environ Monit Assess 158, 519–533.
[93] Jimenez, M., Arenas, A., Bilbao, A., Rodriguez, M.V., (2007). Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution, European Journal of Operational Research, 177, 1599–1609.
[94] Heilpern, S., (1992). The expected value of a fuzzy number, Fuzzy Sets and Systems, 47(1), 81–86.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.15.4.8.0]