

## چشم‌انداز مدیریت صنعتی

سال هشتم، شماره ۳۰، تابستان ۱۳۹۷

شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵

ص ص ۱۳۴ ° ۱۱۱

## ترکیب روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای و تصمیم‌گیری چندهدفه به‌منظور پیش‌بینی و کاهش ریسک‌های آتی تأمین‌کنندگان

مه‌رنوش منفرد\*، محمدحسین آرمان\*\*، مسعود براتی\*\*\*

### چکیده

ریسک‌های اساسی تأمین‌کنندگان پیچیدگی و آسیب‌پذیری زنجیره تأمین را افزایش می‌دهد و گاهی سبب بروز اختلال در تأمین مواد می‌شود؛ بنابراین باید این ریسک‌ها را پیش‌بینی کرد و با ارائه راهکارهایی از قبل آماده مواجهه با آن‌ها شد. در این پژوهش به شناسایی ریسک‌های مختل‌کننده در زنجیره تأمین «شرکت فولاد مبارکه» و سپس کاهش اثرات احتمالی آن‌ها برای چهار دوره آتی پرداخته شده است. با توجه به نظر خبرگان شرکت، الکتروود گرافیتی، استراتژیک‌ترین ماده موردنیاز شرکت و ریسک‌های مرتبط با تأمین آن مهم‌ترین ریسک‌های مختل‌کننده زنجیره تأمین شناسایی شد. وزن این ریسک‌ها با روش ANP به‌دست آمد که مهم‌ترین ریسک، ریسک عدم‌انعطاف‌پذیری تأمین‌کنندگان با وزن ۰/۵۴۳۶ تعیین گردید. سایر ریسک‌ها با توجه به اهمیت آن‌ها به‌ترتیب ریسک زمان تحویل طولانی سفارش‌ها، ریسک کیفیت پایین و ریسک افزایش قیمت با وزن‌های ۰/۱۹۱۱، ۰/۱۷۱۶ و ۰/۰۹۳۷ بودند. سپس یک مدل بهینه‌سازی با اهداف چهارگانه طراحی شد که هر تابع هدف درصد حداقل‌سازی یکی از ریسک‌های شناسایی شده بود. درنهایت مدل بهینه‌سازی اهداف چندگانه با دو روش اولویت مطلق و برنامه‌ریزی آرمانی حل و نتایج آن‌ها با هم مقایسه شد.

**کلیدواژه‌ها:** مدل چند تأمین‌کننده؛ زنجیره تأمین تاب‌آور؛ فرآیند تحلیل شبکه‌ای؛ روش اولویت مطلق؛ برنامه‌ریزی آرمانی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
رتال جامع علوم انسانی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۰۲، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۱۰.

\* کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران.

\*\* استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران (نویسنده مسئول).

E-mail: hosein.arman@yahoo.com

\*\*\* استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران.

## ۱. مقدمه

زنجیره‌های تأمین با تغییرات متعددی مواجه هستند که پیچیدگی و آسیب‌پذیری در مقابل اختلالات را افزایش می‌دهند؛ در نتیجه سازمان‌ها و زنجیره تأمین‌هایشان برای بقا باید تاب‌آور باشند. برای این منظور آن‌ها باید اختلالات احتمالی آتی را پیش‌بینی کنند و با افزایش قابلیت‌های خود، آماده مواجهه با این ریسک‌ها باشند. اختلال‌هایی مانند ازدست‌دادن یک تأمین‌کننده حیاتی که اثر بالقوه مضر بر سود خواهند داشت. این اختلالات می‌توانند به ازدست‌دادن فروش و یا حتی سهم بازار و همچنین افزایش هزینه‌ها منجر شوند.

از زنجیره تأمین به‌عنوان یک شبکه انتظار می‌رود که به ارائه محصولات و خدمات مناسب در زمان موردنظر، با مشخصات موردنیاز، در جای مناسب و متناسب با خواسته مشتری پردازد [۲]؛ اما زنجیره‌های تأمین با تغییرات متعددی روبه‌رو هستند که می‌توانند باعث افزایش پیچیدگی شوند. از جمله این تغییرات می‌توان به پدیده جهانی شدن کسب‌وکار و تصویب برخی فلسفه‌های ناب کسب‌وکار، پاسخ‌گویی کارآمد به مصرف‌کننده و برنامه‌های واکنش سریع اشاره کرد. اجرای این فلسفه یا شیوه‌ها ممکن است مشکلات جدیدی از جمله آسیب‌پذیری بیشتر زنجیره تأمین نسبت به اختلالات را به‌وجود آورد [۳۹].

زنجیره تأمین جهانی، بیش از هر زمان دیگری در معرض خطر اختلالات عمده‌ی ناشی از توسعه تمدن، بلایای طبیعی و انسان‌ساخته و همچنین وقفه ناشی از تغییرات در عرضه و تقاضای مختل‌کننده، قرار گرفته است [۱۷]. این زنجیره‌های تأمین با چالش‌هایی مانند تنوع تقاضای بالا، طول عمر کوتاه محصولات، انتظارات و نیازهای مختلف مشتریان مواجه هستند که تطبیق با این چالش‌ها، پیچیدگی زنجیره تأمین را افزایش می‌دهد و به بی‌ثباتی و غیرقابل پیش‌بینی شدن بیشتر آن منجر می‌شود [۳۴]. هنگامی که یک زنجیره تأمین با اختلال روبه‌رو شود، عملکرد آن مختل می‌شود [۱۸]؛ در نتیجه به منظور مواجهه با این اختلال، زنجیره‌های تأمین باید به‌صورت تاب‌آور<sup>۱</sup> طراحی شوند. آن‌ها باید توانایی واکنش به یک اختلال پیش‌بینی‌نشده را توسعه دهند و پس از تحمل اختلال، بازگشت سریعی به جایگاه اصلی خود سازمان و یا حرکت به یک جایگاه جدید و بهتر همراه با مزیت رقابتی بیشتری داشته باشند [۸]. زنجیره تأمین تاب‌آور<sup>۲</sup>، طراحی شبکه زنجیره تأمین برای پیش‌بینی رویدادهای غیرمنتظره مخرب، پاسخ انطباقی به اختلالات و رسیدن به یک حالت قوی‌تر است که مطلوب‌تر از حالت قبل از رویداد بوده و نتیجه اجرای آن به‌دست‌آوردن مزیت رقابتی است [۳۱].

در «شرکت فولاد مبارکه» ریسک‌های مختل‌کننده در زنجیره تأمین شرکت، ریسک‌های مرتبط با الکتروود گرافیتی است؛ زیرا الکتروود گرافیتی یکی از مواد اساسی در فرآیند تولید فولاد به

1. Resilient

2. Resilient Supply Chain =RSC

روش ذوب الکتریکی است. باید در نظر داشت که ۸۰ درصد تولید فولاد در ایران به روش احیای مستقیم و ذوب الکتریکی صورت می‌گیرد و در حال حاضر نیاز ایران به الکتروود گرافیتی به‌طور کامل از خارج تأمین می‌شود؛ همچنین قیمت فروش الکتروود گرافیتی در بازارهای جهانی حدود ۲۰ برابر قیمت قبلی آن شده است و در حال حاضر هر تن الکتروود گرافیتی حدود ۱۴۰۰۰ یورو به فروش می‌رسد. این موارد همگی به استراتژیک بودن الکتروود گرافیتی برای شرکت‌های فولاد در ایران اشاره دارد و نیاز ارائه راهکارهایی برای مواجهه با ریسک‌های مرتبط با آن را نشان می‌دهد. با توجه به نظر خبرگان، «شرکت فولاد مبارکه» برای تأمین الکتروود گرافیتی در دوره‌های آتی با چهار ریسک اصلی مواجه است که همگی ریسک‌های مربوط به تأمین‌کنندگان این ماده حیاتی هستند. این ریسک‌ها عبارت‌اند از: ریسک عدم انعطاف‌پذیری، ریسک زمان تحویل طولانی سفارش‌ها، ریسک کیفیت پایین و ریسک افزایش قیمت. عدم تأمین به‌موقع الکتروود گرافیتی می‌تواند اختلالات زیادی در روند فعالیت‌های شرکت فولاد ایجاد کند و حتی به توقف خط تولید منجر شود.

هدف این پژوهش، شناسایی ریسک‌های مختل‌کننده عملکرد زنجیره تأمین «شرکت فولاد مبارکه اصفهان» در خصوص ماده حیاتی و استراتژیک الکتروود گرافیتی و ارائه راهکارهایی برای کاهش این ریسک‌ها است. برای این منظور در این پژوهش پس از شناسایی ریسک‌های اصلی و مختل‌کننده زنجیره تأمین شرکت در خصوص تأمین الکتروود گرافیتی، این ریسک‌ها با روش فرایند تحلیل شبکه‌ای وزن‌دهی و اولویت‌بندی می‌شوند؛ سپس با طراحی یک مدل ریاضی بهینه سعی می‌شود میزان الکتروود گرافیتی از هر یک از تأمین‌کنندگان به مقداری تأمین شود که شرکت بتواند از قبل خود را برای مواجهه با ریسک‌های مختل‌کننده زنجیره تأمین آماده کند و بدین صورت قابلیت خود برای رسیدن به حداکثر پاسخگویی به نیاز مشتری را افزایش دهد.

این پژوهش در ۵ بخش تدوین شده است: در بخش نخست به معرفی مسئله پژوهش پرداخت شد. در بخش دوم مروری بر مبانی نظری پژوهش صورت خواهد گرفت. در بخش سوم، روش و رویکرد این پژوهش ارائه می‌شود. به‌منظور تبیین رویکرد ارائه‌شده در بخش چهارم مثالی کاربردی ارائه می‌شود و در نهایت در بخش پنجم، خلاصه‌ای از پژوهش شده و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی ارائه می‌شود.

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

زنجیره تأمین مشتمل بر تمام فعالیت‌های مرتبط با جریان و تبدیل کالاها از مرحله ماده خام تا تحویل به مصرف‌کننده نهایی و نیز جریان‌های اطلاعاتی مرتبط با آن‌ها است [۱۶]. تاب‌آوری از دیدگاه سازمانی یعنی ظرفیت تعدیل و حفظ کارکردهای مطلوب در شرایط چالشی یا فشار [۷]. تاب‌آوری زنجیره تأمین، توانایی تطبیقی زنجیره تأمین در آماده‌سازی برای رویارویی با وقایع غیرمنتظره، پاسخ به اختلالات و ترمیم از آن‌ها توسط حفظ مداومت عملیاتی در سطح مطلوبی از

ارتباط‌پذیری و کنترل روی ساختار و کارکرد است [۳۰]. فرآیندهای تاب‌آور انعطاف‌پذیر، سریع و خیلی زود قادر به تغییر هستند. ماهیت پویای این توانمندی تطبیقی، زنجیره تأمین را برای ترمیم بعد از اختلال، بازگشت به حالت اولیه یا کسب یک حالت مطلوب‌تر عملیات زنجیره تأمین، مجاز می‌سازد [۱۰]. یک مطالعه نشان داد که در زمان اعلام اخطار برای یک اختلال، میانگین بازده سهامداران به ۷/۵ درصد کاهش می‌یابد؛ اما چهار ماه بعد از اختلال، میانگین کل ضرر به ۵/۱۸ درصد می‌رسد؛ بنابراین سازمان‌ها باید یاد بگیرند که اختلالات را پیش‌بینی و جذب نموده و بر آن‌ها غلبه کنند [۲۹].

اختلال‌هایی مانند ازدست‌دادن یک تأمین‌کننده حیاتی و یا آتش‌سوزی عمدی در کارخانه تولیدی اثر بالقوه مضری بر سود و هزینه خواهند داشت. این اختلالات می‌توانند به ازدست‌دادن فروش و یا حتی سهم بازار و همچنین افزایش هزینه‌ها منجر شوند. برای کاهش این ریسک‌ها، زنجیره‌های تأمین باید طوری طراحی شوند که آمادگی مناسبی برای حوادث داشته باشند، پاسخ‌های مؤثر و کارایی فراهم سازند و قادر به بازگشت به حالت اولیه و حتی حالتی بهتر از زمان قبل از وقوع اختلال باشند. همه شرکت‌ها به تأمین‌کنندگان متکی هستند تا روانی عملیات و نیز مشتریان خود را حفظ کنند و به سود مداوم دست یابند؛ بنابراین یک شرکت تاب‌آور تنها به اندازه‌ای تاب‌آور است که زنجیره تأمین آن تاب‌آور است [۳۰]. تعریف‌های دیگری نیز درباره زنجیره تأمین تاب‌آور وجود دارد که برخی از آن‌ها در جدول ۱، ارائه شده است.

بررسی تعاریف نشان می‌دهند که تمام آن‌ها زنجیره تأمین تاب‌آور را توانایی زنجیره تأمین در پاسخگویی به اختلالات می‌دانند. اختلال به‌عنوان یک رویداد قابل‌پیش‌بینی یا پیش‌بینی‌نشده تعریف می‌شود که به‌طور مستقیم بر عملیات یک شرکت و زنجیره تأمین آن تأثیر می‌گذارد [۴]. تاب‌آوری زنجیره تأمین دارای دو عامل ساختاری است که عبارت‌اند از: آسیب‌پذیری‌ها و توانمندی‌ها [۳۰]. عوامل آسیب‌پذیری زنجیره تأمین به‌عنوان انحراف ناخواسته از حالت عادی و پیامدهای منفی آن تعریف شده است. یک دیدگاه مشابه دیگر این است که عوامل آسیب‌پذیری را می‌توان احتمال یک حادثه و شدت بالقوه آن دانست [۳۶]؛ اما توانمندی‌ها عواملی هستند که یک مؤسسه را قادر می‌سازند تا اختلالات را پیش‌بینی کرده و بر آن‌ها غلبه کند [۲۸]. به‌عنوان مثال در یک تحقیق، شناسایی ریسک‌های زنجیره تأمین خودروسازان نقش توانمندی زنجیره را ایفا کرده است به‌گونه‌ای که از این ریسک‌ها به‌عنوان معیارهای انتخاب تأمین‌کنندگان استفاده شده و با انتخاب برترین تأمین‌درواقع آسیب‌پذیری زنجیره تأمین کاهش یافته است [۳۸].

گاهی عدم قطعیت در برخی پارامترها یا اهداف، برنامه‌ریزی در زنجیره تأمین را با مشکل مواجه می‌سازد که برای رفع این موضوع راهکارهایی پیشنهاد شده است. به‌عنوان مثال در پژوهشی از رویکرد بهینه‌سازی استوار در قالب یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه چند دوره‌ای به‌منظور برنامه‌ریزی تأمین قطعات دو محصول شرکت ایران‌خودرو استفاده شد. علت تبدیل شده

مدل این پژوهش به مدلی استوار، عدم اطمینان حاکم بر برخی پارامترهای مدل بود که سبب شده بود این نوع پارامترها به صورت متغیری تصادفی در نظر گرفته شوند [۳۲]. پژوهش دیگری نیز با هدف بررسی مسئله یکپارچگی منبع‌یابی و سیاست موجودی، با مشکل محاسبه دقیق هزینه کمبود موجودی مواجه بود. برای رفع این مشکل در پژوهش مذکور، تعداد کمبود به عنوان هدفی مجزا در نظر گرفته شد. در نهایت با توجه به احتمالی بودن تقاضای کارخانه‌ها و زمان تحویل، برای تخمین مقدار تابع هدف از شبیه‌سازی استفاده شد [۱].

جدول ۱. تعاریف زنجیره تأمین تاب‌آور

[۳۳]	توانایی واکنش به اختلالات غیرمنتظره و بازگرداندن عملیات شبکه تأمین به حالت طبیعی
[۹]	توانایی یک سیستم برای بازگشت به حالت اصلی خود و یا حرکت به یک حالت جدید، حالت مطلوب‌تر از قبل آشفتگی
[۱۵]	توانایی ازسرگیری حفظ شرکت و بازگرداندن عملیات پس از یک وقعه
[۱۲]	نه تنها توانایی حفظ کنترل بر عملکرد و تنوع در مواجهه با اختلال، بلکه داشتن یک خاصیت انطباقی و توانایی پاسخ‌های پایدار به اتفاقات ناگهانی و تغییرات چشمگیری در محیط به شکل تقاضاهای نامشخص
[۱۴]	توانایی یک سیستم زنجیره تأمین به منظور کاهش احتمال اختلالات، عواقب ناشی از آن اختلالات و زمان برای بازیابی عملکرد طبیعی
[۳۰]	قابلیت تطبیقی زنجیره تأمین به منظور آماده‌شدن برای حوادث غیرمنتظره، پاسخ به اختلالات و بهبودیافتن از آن‌ها، با حفظ تداوم عملیات در سطح موردنظر از ارتباطات و کنترل بر ساختار و عملکرد است.
[۴]	توانایی زنجیره تأمین در واکنش به اثرات منفی ناشی از اختلالات که در یک لحظه معین به منظور حفظ اهداف زنجیره تأمین رخ می‌دهد.
[۱۹]	توانایی آشکار برخی از زنجیره‌های تأمین برای بهبودیافتن در مقابل ریسک‌های رویدادهای اجتناب‌ناپذیر به طور مؤثرتر از دیگر زنجیره‌های تأمین
[۳۱]	توانایی فعالانه برنامه‌ریزی و طراحی شبکه زنجیره تأمین برای پیش‌بینی حوادث غیرمترقبه (منفی) و پاسخ انطباقی به اختلالات؛ درحالی‌که حفظ کنترل ساختار و عملکرد و تعالی یک سازمان باهم انجام شود و در صورت امکان، سازمانی مطلوب‌تر از قبل از رویداد ایجاد شود که نتیجه به دست آوردن مزیت رقابتی است
[۸]	تاب‌آوری به عنوان توانایی زنجیره تأمین برای مقابله با اختلالات غیرمنتظره
[۲۵]	توانایی یک زنجیره تأمین برای مقاومت در برابر اختلالات و بازیابی قابلیت عملیاتی پس از اختلالات اتفاق افتاده
[۳۴]	قابلیت زنجیره تأمین برای پاسخ سریع به حوادث غیرمنتظره برای بازگرداندن عملیات به سطح عملکرد قبلی و یا حتی جدید و بهتر
[۲۱]	شبکه زنجیره تأمین تاب‌آور به عنوان یک ویژگی مقاومت در برابر اختلالات در سطح شبکه تعریف می‌شود که ممکن است در سطحی گره خورده باشد.

در برخی پژوهش‌ها از چارچوب‌های مفهومی در زنجیره تأمین تاب‌آور استفاده شده است. برای مثال، در پژوهشی برای دستیابی به خاصیت تاب‌آوری از ۱۷۱ مدیر در صنایع مختلف در فرانسه برای تأیید مدل مفهومی استفاده شده که روابط میان قابلیت‌های زنجیره تأمین و تاب‌آوری را با وجود متغیرهای تعدیل‌گر ریسک‌های زنجیره تأمین (خارجی، مشتری و تأمین‌کننده) بررسی کرده است. نتایج نشان داد که ریسک‌های خارجی و ریسک‌های تأمین‌کننده به‌عنوان متغیرهای تعدیل‌گر، به‌ترتیب کمترین و بیشترین تأثیر را بر روابط میان قابلیت‌های زنجیره و تاب‌آوری دارند؛ همچنین متغیرهای کنترلی مانند اندازه شرکت و وابستگی میان صنایع نیز بر تاب‌آوری زنجیره تأمین اثر مهمی نداشته است [۶]. پژوهشی دیگر اقدام به طراحی چارچوب تاب‌آور کرده و یک ماتریس برای اندازه‌گیری آن از طریق ترکیب ظرفیت‌های جذب، انطباق و بهبود کرده است؛ سپس سناریوهای اختلال و استراتژی‌های ذخیره موجودی و محافظتی را برای برآورده کردن تقاضا موردتحلیل قرار داده تا تاب‌آوری سیستم را حداکثر کنند. نتایج نشان داد که ظرفیت‌های جذب و بهبود بر ظرفیت تأمین و ظرفیت‌های تأمین و انطباقی بر نرخ تأمین اثر مثبت می‌گذارند [۴۱].

برخی پژوهش‌ها نیز به بررسی عملکرد زنجیره تأمین تاب‌آور و بهبود آن پرداخته‌اند. برای مثال، در پژوهشی یک فرآیند تصمیم‌گیری یکپارچه عملی برای بهبود کلی عملکرد تاب‌آوری زنجیره تأمین با هدف بهینه‌کردن هزینه کل و افزایش سود کل معرفی شد. هزینه کل شامل هزینه‌های تولید، ورودی‌ها، حمل‌ونقل و هزینه کنترل توزیع بالقوه است. در واقع هدف اصلی ایجاد یک برنامه‌ریزی زنجیره تأمین تاب‌آور است که شامل خرابی‌ها و ریسک‌ها در کل عملیات تجاری است. مدل تصمیم‌گیری به روش گام‌به‌گام برای ارزیابی عملکرد تاب‌آور، شناسایی آسیب‌پذیری، انتخاب گزینه‌های آسیب‌پذیری و برآورد هزینه‌های مهار این آسیب‌ها بر اساس فرآیندهای تصمیم‌گیری موجود زنجیره تأمین بوده است [۱۱].

در برخی از پژوهش‌ها از روش‌های بهینه‌سازی برای حل مسائل مختلف در زنجیره تأمین تاب‌آور بهره‌گیری شده است. برای مثال، در پژوهشی یک مسئله مسیریابی موجودی دریایی با پنجره‌های زمانی مورد مطالعه قرار گرفت که تحویل با اختلالات نامطلوب را بررسی می‌کرد. هدف این مسئله یافتن راه‌حل‌های تاب‌آوری بود که بتوانند بروز اختلالات ناخواسته را کنترل کند. برای این منظور یک برنامه لاگرانژی برای بهینه‌سازی در شرایط نامطمئن توسعه داده شد و با استفاده از شبیه‌سازی کیفیت راه‌حل‌های الگوریتم لاگرانژی ارزیابی شده و هزینه‌های به‌دست‌آوردن راه‌حل‌های تاب‌آوری محاسبه شد [۴۰]. در پژوهش دیگری نیز یک مدل عدد صحیح برای زنجیره تأمین تاب‌آور طراحی شد که امکان کاهش مشکلاتی همچون پوشش‌دهی مکانی را بهینه‌سازی می‌کرد [۳].

در برخی پژوهش‌ها نیز از روش‌های بهینه‌سازی در چارچوب سناریونویسی برای مواجهه با اختلالات در زنجیره تأمین تاب‌آور استفاده شده است. برای مثال، در پژوهشی یک مدل بهینه‌سازی زنجیره تأمین تاب‌آور سوخت زیستی طراحی شد که اختلالات بالقوه‌ای همچون سیل، خشک‌سالی و آفات را در نظر می‌گرفت. تابع هدف مدل به کاهش مجموع هزینه کل در سناریوهای مختلف و حداقل‌سازی احتمال وقوع اختلالات می‌پرداخت [۲۲]. در پژوهش دیگری نیز یک مدل بهینه‌سازی برای طراحی زنجیره تأمین تاب‌آور زیستی پیشنهاد شد که سیستم انرژی را با سناریوهای احتمالی اختلال تغذیه زیستی در نظر می‌گرفت. هدف این مدل به حداقل‌رساندن هزینه تولید کل با در نظر گرفتن اختلالات بود [۳۷]. مارگولیس و همکاران (۲۰۱۸)، نیز در پژوهش خود یک مدل چندهدفه و یک روش پشتیبانی مبتنی بر بهینه‌سازی برای طراحان زنجیره تأمین ارائه دادند که به ارزیابی موازنه بین حداقل‌سازی کل هزینه شبکه و حداکثرسازی کل ارتباطات شبکه زنجیره تأمین کمک می‌کرد. آن‌ها تأثیر هزینه و ارتباطات را در هنگام ترکیب شبکه‌های زنجیره تأمین پس از کسب دیدگاه بهینه‌سازی، بررسی کردند. این مسئله با مصاحبه با مخاطبان صنعت و در قالب چند سناریو مورد بررسی قرار گرفت [۲۳].

در برخی از پژوهش‌ها از روش‌های بهینه‌سازی برای کاهش ریسک در زنجیره تأمین استفاده شده است. برای مثال، در پژوهش بیتانت و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط برای طراحی بهینه زنجیره تأمین ارائه شد که ضمن حداقل‌سازی هزینه‌های زنجیره تأمین، چارچوبی انعطاف‌پذیر را برای مقابله با ریسک‌های زنجیره تأمین ایجاد می‌کرد. راه‌حل حاصل نشان‌دهنده ناوگان (اندازه و تعداد کشتی)، مسیرهای دریایی و تعداد سفرهای هر کشتی و بارهای کشتی بود [۵]. پژوهش دیگری نیز به بهینه‌سازی هزینه تولید سوخت دوگانه پرداخت که تأثیر چهار استراتژی را برای کاهش هزینه تولید سوخت زیستی بررسی می‌کرد. این استراتژی‌ها عبارت بودند از: اقتصاد مقیاس؛ حمل‌ونقل مجتمع؛ ادغام و تنظیمات زنجیره تأمین [۱۳]. سامپات و همکاران (۲۰۱۷)، نیز یک مدل بهینه‌سازی برای شبکه‌های زنجیره تأمین چندمحصولی ارائه کردند که هدف آن طراحی زنجیره‌های تأمین برای جمع‌آوری و پردازش زباله‌های آلی از مزارع ایالت ویسکانسین به منظور کاهش ریسک انتشار فسفر و متان بود [۳۵].

در پژوهش نگوین و چن (۲۰۱۸)، از روش‌های دومرحله‌ای، مدل‌سازی چندهدفه یا تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه برای موضوع‌های مختلف در زنجیره تأمین همچون کاهش ریسک یا انتخاب تأمین‌کنندگان استفاده شده است. در این پژوهش مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای با انتخاب تأمین‌کننده طراحی شد که هدف آن تثبیت منبع تغذیه یک زنجیره تأمین زیستی در شرایط غیرقطعی بود. این مدل در مرحله نخست به انتخاب تأمین‌کننده می‌پردازد و در مرحله دوم برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، موجودی و عملیات تولید را انجام می‌دهد [۲۷]. در پژوهش موری و همکاران (۲۰۱۷)، یک مسئله بهینه‌سازی دوهدفه برای حداقل‌سازی

هزینه تدارکات خرده‌فروشی و ریسک مورد ارزیابی طراحی شد. در این پژوهش ابتدا یک برنامه‌ریزی برای تدارکات خرده‌فروش پیشنهاد شد؛ سپس با استفاده از شبیه‌سازی، زمان بازیابی از یک رویداد فاجعه‌بار به‌عنوان ریسک و هزینه کل برای خرید برآورد شد [۲۶]. ماوی و همکاران (۲۰۱۶)، در پژوهش خود به انتخاب تأمین‌کننده در خصوص مدیریت ریسک زنجیره تأمین پرداختند. آن‌ها ۶ ریسک در زنجیره تأمین را برای ارزیابی تأمین‌کنندگان در نظر گرفتند که عبارت‌اند از: ریسک تأمین؛ ریسک تقاضا؛ ریسک تولید؛ ریسک حمل‌ونقل؛ ریسک اطلاعاتی و ریسک محیطی؛ سپس از آنتروپی شانون برای تعیین وزن معیارهای ارزیابی و از روش تاپسیس فازی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده کردند [۲۴].

### ۳. روش شناسایی پژوهش

در این بخش با توجه به پیشینه پژوهش، ابتدا مهم‌ترین ریسک‌هایی که شرکت فولاد با آن مواجه است از طریق مصاحبه با خبرگان شناسایی و با روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای اولویت‌بندی می‌شود؛ سپس اقدام به حداقل‌سازی آن‌ها از طریق ساخت مدل ریاضی خواهد شد. این مراحل به‌صورت خلاصه در شکل ۱، آورده شده و در ادامه به تفصیل توضیح داده شده است.



شکل ۱. مراحل انجام پژوهش

**مرحله ۱. شناسایی ریسک‌های مختل‌کننده زنجیره تأمین فولاد.** در این گام ابتدا با مطالعات کتابخانه‌ای و جمع‌آوری داده‌ها، فهرستی کلی از ریسک‌های زنجیره تأمین استخراج شد؛ سپس با عرضه ریسک‌های شناسایی‌شده و مصاحبه با خبرگان شرکت، ریسک‌های مختل‌کننده زنجیره تأمین در شرکت فولاد مورد بحث قرار گرفت. از دید خبرگان شرکت، ریسک اصلی و عمده که ممکن است سبب بروز اختلال در زنجیره تأمین شود، ریسک‌های مرتبط با تأمین ماده اولیه الکترونی گرافیتی است. با توجه به اینکه قسمت عمده تولید فولاد در ایران به روش احیای مستقیم و ذوب الکتریکی صورت می‌گیرد و همچنین با در نظر گرفتن اینکه تمام



الکتروود گرافیتی موردنیاز از خارج تأمین می‌شود، ریسک‌های تأمین این ماده اولیه به‌عنوان مهم‌ترین ریسک‌های شرکت شناسایی شدند که عبارت‌اند از:

۱. ریسک افزایش قیمت الکتروود از سوی تأمین‌کنندگان؛
۲. ریسک عدم‌انعطاف‌پذیری در ظرفیت تأمین از سوی تأمین‌کنندگان؛
۳. ریسک زمان طولانی تحویل سفارش الکتروود از سوی تأمین‌کنندگان؛
۴. ریسک کیفیت پایین الکتروود از سوی تأمین‌کنندگان.

## مرحله ۲. اولویت‌بندی ریسک‌ها و تأمین‌کنندگان با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای.

در این بخش ریسک‌های شناسایی شده در خصوص تأمین الکتروود گرافیتی رتبه‌بندی می‌شود؛ اما اهمیت این ریسک‌ها برای تأمین‌کنندگان متفاوت فرق می‌کند؛ به‌عبارت‌دیگر تأمین‌کنندگان بر اهمیت ریسک‌های تأمین الکتروود گرافیتی تأثیر می‌گذارند؛ همچنین وزن تأمین‌کنندگان نیز از لحاظ هر ریسک متفاوت است؛ بنابراین ریسک‌های تأمین الکتروود گرافیتی نیز بر اهمیت تأمین‌کنندگان تأثیر دارند؛ در نتیجه روابط بین تأمین‌کنندگان و ریسک‌های شناسایی شده تأمین الکتروود گرافیتی به‌صورت شبکه‌ای بوده که در شکل ۲، نشان داده شده است. پس از شناسایی شبکه موردنظر برای مسئله پژوهش، وزن هر یک از ریسک‌های تأمین الکتروود گرافیتی و همچنین وزن هر یک از تأمین‌کنندگان آن به‌دست آمد. برای این منظور ابتدا پنلی از خبرگان شرکت تشکیل و جدول‌های مقایسات زوجی موردنظر تکمیل شد. سپس وزن‌های موردنظر با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای به‌دست آمدند.



شکل ۲. فرم کلی فرآیند تحلیل شبکه‌ای برای مدل پژوهش

## مرحله ۳. طراحی مدل ریاضی به‌منظور کاهش ریسک‌های تأمین الکتروود گرافیتی. پس

از مشخص شدن مهم‌ترین ریسک‌های تأمین‌کنندگان توسط خبرگان و وزن‌دهی با استفاده از روش ANP در مرحله قبل، در این بخش از طریق طراحی مدل ریاضی اقدام به حداقل‌سازی ریسک‌ها برای دوره‌های آتی می‌شود. برای این منظور در ادامه، ابتدا مفروضات، پارامترها و متغیرهای تصمیم معرفی شده و سپس توابع هدف و محدودیت‌های مدل تشریح می‌شوند؛ در نهایت مدل برنامه‌ریزی چندهدفه طراحی شده و با دو رویکرد اولویت مطلق و برنامه‌ریزی آرمانی حل و نتایج حاصل با هم مقایسه می‌شود.

**مفروضات، پارامترها و متغیرهای مدل.** در این بخش ابتدا مفروضات مدل پژوهش تشریح می‌شود؛ سپس پارامترها و متغیرهای مورد استفاده در این مدل شرح داده می‌شوند.

**مفروضات مدل.** مفروضات مدل طراحی شده عبارت‌اند از:

- (۱) مدل ارائه شده، یک مدل تک‌محصولی و چنددوره‌ای است (این مدل به‌منظور کاهش ریسک‌های تأمین ماده اولیه الکتروود گرافیتی برای ۴ دوره آتی طراحی می‌شود)؛
- (۲) مکان تأمین‌کنندگان و مکان فولاد مبارکه (تولیدکننده) معلوم و ثابت است؛
- (۳) میزان تأمین الکتروود گرافیتی با توجه به ظرفیت تأمین‌کنندگان به دو بخش تقسیم می‌شود: تأمین بدون ریسک و تأمین با ریسک از هر تأمین‌کننده؛
- (۴) تقاضای شرکت از محصول مورد نیاز در دوره‌های آتی، محدود و به‌صورت قطعی است.

**اندیس متغیرها.** شرکت فولاد، چهار تأمین‌کننده اصلی الکتروود گرافیتی دارد؛ همچنین هدف این پژوهش برنامه‌ریزی برای یک بازه زمانی ۴ دوره‌ای است؛ بنابراین اندیس‌های مورد استفاده برای متغیرها عبارت‌اند از:

i: شماره شرکت تأمین‌کننده ( $i=1, 2, 3, 4$ )

j: شماره دوره زمانی ( $j=1, 2, 3, 4$ )

**پارامترها.** پارامترهای مورد استفاده در این پژوهش عبارت‌اند از:

$P_{0i}$ : هزینه فعلی تأمین الکتروود گرافیتی از شرکت تأمین‌کننده  $i$ ام (هزینه خرید، هزینه حمل و نقل و غیره).

$L_{0i}$ : زمان تأخیر فعلی شرکت تأمین‌کننده  $i$ ام در تحویل مواد خریداری شده.

$Q_{0i}$ : کیفیت فعلی الکتروود گرافیتی تأمین‌کننده  $i$ ام.

$RP_i$ : ریسک افزایش هزینه تأمین الکتروود گرافیتی از شرکت تأمین‌کننده  $i$ ام.

$RF_i$ : ریسک عدم انعطاف‌پذیری شرکت تأمین‌کننده  $i$ ام در تأمین الکتروود گرافیتی.

$RL_i$ : ریسک زمان تأخیر شرکت تأمین‌کننده  $i$ ام در تحویل الکتروود گرافیتی خریداری شده.

$RQ_i$ : ریسک کیفیت پایین الکتروود گرافیتی خریداری شده از تأمین‌کننده  $i$ ام.

$D_j$ : میزان تقاضای دوره  $j$ ام.

$PN_{ij}$ : مقدار تولید در حالت عادی و بدون ریسک تأمین‌کننده  $i$ ام در دوره  $j$ ام.

$PR_{ij}$ : مقدار تولید دارای ریسک تأمین‌کننده  $i$ ام در دوره  $j$ ام.

مقادیر پارامترهای هزینه فعلی، زمان تأخیر فعلی و کیفیت فعلی تأمین الکتروود گرافیتی و همچنین میزان تقاضای دوره‌های آتی شرکت به این ماده اولیه از شرکت استخراج می‌شوند؛ اما

پارامترهای ریسک‌های شرکت‌ها از جدول‌های مقایسات زوجی و روش فرایند تحلیل شبکه‌ای به‌دست خواهند آمد. مقادیر  $PN_{ij}$  و  $PR_{ij}$  با توجه به شناخت خبرگان شرکت از تأمین‌کنندگان الکترونی گرافیتی پیش‌بینی می‌شود؛ به عبارت دیگر خبرگان شرکت با توجه به روند تولید الکترونی گرافیتی توسط هر یک از تأمین‌کنندگان پیش‌بینی می‌کنند که تأمین‌کننده  $i$  در دوره  $j$  مقدار  $PN_{ij}$  واحد از این ماده را بدون ریسک پوشش خواهند داد؛ اما تأمین مقدار بیشتر به میزان  $PR_{ij}$  توسط این تأمین‌کنندگان با ریسک مواجه است.

**متغیرهای تصمیم و باینری.** متغیرهای تصمیم مورد استفاده در این پژوهش عبارت‌اند از:

$X_{ij}$ : تولید بدون ریسک شرکت تأمین‌کننده  $i$ ام در دوره  $j$ ام.

$Y_{ij}$ : تولید با ریسک شرکت تأمین‌کننده  $i$ ام در دوره  $j$ ام.

$I_j$ : میزان موجودی در دوره  $j$ ام.

متغیر باینری مورد استفاده در این پژوهش نیز عبارت است از:

$t_{ij}$ : این متغیر نشان می‌دهد که آیا از تأمین‌کننده  $i$ ام در دوره  $j$ ام الکترونی گرافیتی خریداری می‌شود یا خیر؟ اگر این خرید رخ دهد مقدار متغیر باینری مربوطه برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر است.

**توابع هدف مدل.** هدف پژوهش حاضر این است که تعیین کند در هر دوره چه مقدار الکترونی گرافیتی از هر تأمین‌کننده خریداری شود تا ریسک‌های تأمین این ماده حداقل شود. با توجه به اینکه از نظر خبرگان شرکت چهار ریسک در خصوص تأمین الکترونی گرافیتی وجود دارد؛ بنابراین ۴ تابع هدف به صورت زیر وجود خواهد داشت:

- تابع هدف اول: حداقل‌سازی ریسک افزایش قیمت الکترونی از سوی تأمین‌کنندگان الکترونی:

$$\text{Minimize } Z_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{pi} \times P_{0i} \times (X_{ij} + Y_{ij}) \quad (1)$$

- تابع هدف دوم: حداقل‌سازی ریسک عدم‌انعطاف در ظرفیت تأمین از سوی تأمین‌کنندگان الکترونی:

$$\text{Minimize } Z_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{fi} \times Y_{ij} \quad (2)$$

باید توجه داشت که بخشی از الکترونی گرافیتی درخواستی از هر تأمین‌کننده بدون هیچ ریسکی قابل‌تهیه است؛ اما اگر بیش از این مقدار تقاضا شود، تأمین این مقدار مازاد به‌دلیل

عدم انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده با ریسک مواجه است؛ بنابراین در تابع هدف این بخش، ریسک عدم انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده فقط مربوط به این مقدار مازاد تقاضا خواهد بود و نه کل تقاضا.

- تابع هدف سوم: حداقل‌سازی ریسک زمان تحویل سفارش طولانی از سوی تأمین‌کنندگان الکترونیکی:

$$\text{Minimize } Z_3 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{li} \times L_{oi} \times (X_{ij} + Y_{ij}) \quad (۳)$$

- تابع هدف چهارم: حداقل‌سازی ریسک کیفیت پایین از سوی تأمین‌کنندگان الکترونیکی:

$$\text{Minimize } Z_4 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{qi} \times \frac{1}{Q_{oi}} \times (X_{ij} + Y_{ij}) \quad (۴)$$

**محدودیت‌های مدل.** این پژوهش در راستای دستیابی به اهداف بالا با محدودیت‌هایی به شرح زیر مواجه است:

- محدودیت‌های نوع اول: محدودیت‌های برآورده‌شدن تقاضای هر دوره:

$$j=1,2,3,4 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (X_{ij} + Y_{ij}) + I_{j-1} - I_j = D_j \quad i=1,2,3,4, \quad (۵)$$

به عبارت دیگر مقدار خرید از تأمین‌کنندگان باید به گونه‌ای باشد که مقدار تقاضای الکترونیکی گرافیتی در هر دوره تأمین شود.

- محدودیت‌های نوع دوم: محدودیت‌های سقف خرید بدون ریسک الکترونیکی گرافیتی از هر تأمین‌کننده در هر دوره:

$$X_{ij} \leq PN_{ij} \times t_{ij} \quad i=1,2,3,4, \quad j=1,2,3,4 \quad (۶)$$

به عبارت دیگر مقدار خرید الکترونیکی گرافیتی از هر تأمین‌کننده در حالت بدون ریسک، حداکثر برابر است با مقدار تولید آن تأمین‌کننده در حالت بدون ریسک. برای این منظور باید مقدار متغیر باینری مربوطه نیز برابر با ۱ باشد.

- محدودیت‌های نوع سوم: محدودیت‌های سقف خرید دارای ریسک الکترونیکی گرافیتی از هر تأمین‌کننده در هر دوره:

$$Y_{ij} \leq PR_{ij} \times t_{ij} \quad i=1,2,3,4, \quad j=1,2,3,4 \quad (7)$$

به عبارت دیگر مقدار خرید الکتروود گرافیتی از هر تأمین کننده در حالت ریسک دار، حداکثر برابر است با مقدار مازاد تولید آن تأمین کننده در حالت دارای ریسک. برای این منظور باید مقدار متغیر باینری مربوطه نیز برابر با ۱ باشد.

- محدودیت‌های نوع چهارم: محدودیت‌های قراردادهای متوالی با تأمین کنندگان A و B:

$$t_{i(j+1)} \leq t_{ij} \quad i=1,2,3,4, \quad j=1,2,3,4 \quad (8)$$

طبق نظر کارشناسان شرکت، اگر از دو تأمین کننده A و B در یک دوره خریداری نشود، این احتمال وجود دارد که این تأمین کنندگان قراردادهای آتی خود را با شرکت‌های دیگر منعقد کنند. به عبارت دیگر اگر از هر یک از تأمین کنندگان A و B در یک دوره خرید نشود، در دوره‌های بعد نیز امکان خریداری از آن‌ها وجود نخواهد داشت.

- محدودیت‌های نوع پنجم: محدودیت‌های بستن قرارداد با حداقل ۲ تأمین کننده در هر دوره:

$$\sum_{i=1}^n t_{ij} \geq 2 \quad i=1,2,3,4, \quad j=1,2,3,4 \quad (9)$$

طبق سیاست شرکت، الکتروود گرافیتی مورد نیاز در هر دوره باید حداقل از ۲ تأمین کننده خریداری شود.

**رویکرد مورد استفاده برای حل مدل.** در این پژوهش از دو رویکرد اولویت مطلق و برنامه‌ریزی آرمانی برای حل مدل ارائه شده استفاده می‌شود؛ به عبارت دیگر در این پژوهش چهار ریسک متفاوت در تأمین الکتروود گرافیتی وجود دارد که دارای اهمیت‌های متفاوتی هستند. در روش اولویت مطلق میزان اهمیت این ریسک‌ها که از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای به دست می‌آید، مبنای اولویت بندی آن‌ها قرار می‌گیرد.

علت استفاده از روش اولویت مطلق، تفاوت معنادار ریسک عدم انعطاف پذیری تأمین کنندگان الکتروود گرافیتی با وزن ۰/۵۴۳۶ نسبت به سایر ریسک‌ها است؛ به عبارت دیگر ابتدا مدل فقط با ریسک دارای اولویت اول حل می‌شود و مقدار بهینه آن به دست می‌آید؛ سپس مدل با ریسک دارای اولویت دوم حل می‌شود با این تفاوت که مقدار بهینه ریسک دارای اولویت اول به عنوان

محدودیت به مدل اضافه می‌شود. این روند تا ریسک دارای اولویت آخر ادامه می‌یابد. در روش برنامه‌ریزی آرمانی ابتدا مقدار بهینه برای هر یک از ریسک‌های چهارگانه به صورت جداگانه و از حل مدل‌های بهینه‌سازی مجزا حل به دست می‌آید؛ سپس فاصله هر تابع ریسک با مقدار بهینه آن به صورت محدودیت‌های آرمانی به مدل پژوهش افزوده شده و مدل پژوهش به روش برنامه‌ریزی آرمانی حل می‌شود. تابع هدف در این مدل حداقل کردن انحرافات نامطلوب از مقادیر بهینه به دست آمده برای هر یک از ریسک‌ها به صورت موزون است؛ به عبارت دیگر اهمیت به دست آمده از مقایسات زوجی خبرگان درباره هر ریسک، به عنوان وزن انحرافات نامطلوب در تابع هدف برنامه‌ریزی آرمانی در نظر گرفته می‌شود.

#### ۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

در این بخش محاسبات مربوط به رویکرد پیشنهادی، ارائه شده و سپس به حل مدل پژوهش پرداخته می‌شود. در نهایت یافته‌های پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرند. رویکرد ارائه شده در این پژوهش دارای ۳ مرحله است: در مرحله نخست، ریسک‌های مختل کننده در زنجیره تأمین فولاد با استفاده از نظر خبرگان شناسایی شده و در مرحله دوم از طریق روش ANP، این ریسک‌ها و شرکت‌های تأمین کننده الکترو گرافیتی اولویت بندی می‌شوند. در مرحله سوم، مدل ریاضی برای حداقل سازی ریسک‌های تأمین کنندگان «شرکت فولاد مبارکه اصفهان» طراحی شده و با دو رویکرد اولویت مطلق و برنامه‌ریزی آرمانی حل می‌شود. در ادامه محاسبات هر مرحله با جزئیات ارائه شده است.

**مرحله اول: شناسایی ریسک‌های مختل کننده.** به منظور شناسایی ریسک‌های مختل کننده زنجیره تأمین شرکت فولاد ابتدا با مطالعه پیشینه پژوهش فهرستی از ریسک‌های زنجیره تأمین شناسایی شد؛ سپس با مصاحبه با خبرگان «شرکت فولاد مبارکه» و ارائه ریسک‌های شناسایی شده، ۴ ریسک بسیار مهم و مختل کننده در شرکت شناسایی شد که همگی مربوط به تأمین الکترو گرافیتی بودند.

این ریسک‌ها که در جدول ۲، نشان داده شده‌اند عبارت‌اند از: ریسک‌های افزایش قیمت به- دلیل استراتژیک بودن الکترو گرافیتی همچنین افزایش ۲۰ برابری قیمت جهانی آن؛ ریسک عدم انعطاف پذیری در ظرفیت تولید از سوی تأمین کنندگان به دلیل تقاضای بالای جهانی الکترو و همچنین تحریم‌های اتفاق افتاده در چند سال اخیر؛ ریسک زمان تحویل طولانی سفارش‌ها به- دلیل خرید و تهیه از نقاط دور و نزدیک و همچنین ریسک کیفیت پایین به دلیل احتمال نامرغوب بودن مواد اولیه ارسالی.

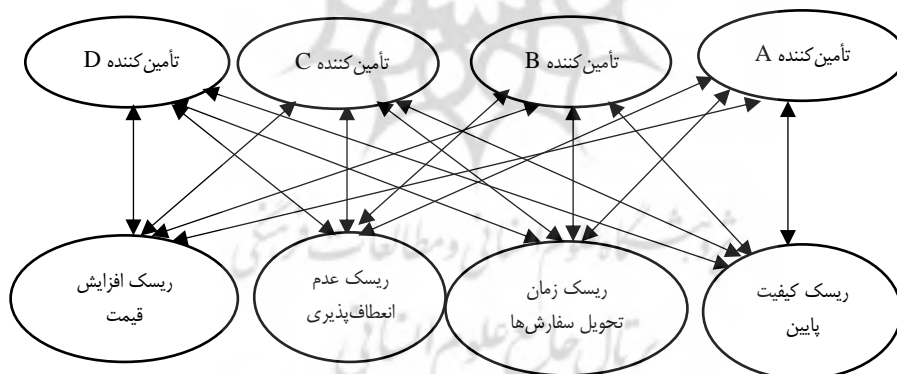
جدول ۲. ریسک‌های مختل‌کننده زنجیره تأمین شرکت فولاد

۱. احتمال افزایش قیمت از سوی تأمین‌کنندگان الکتروود گرافیتی بالا است. (Risk1)
۲. تأمین‌کنندگان الکتروود گرافیتی از نظر میزان تولید محصول درخواستی منعطف نیستند. (Risk2)
۳. زمان تحویل سفارش از تأمین‌کنندگان الکتروود گرافیتی طولانی است. (Risk3)
۴. کیفیت مواد دریافتی از سوی تأمین‌کنندگان الکتروود گرافیتی پایین است. (Risk4)

**مرحله دوم: اولویت‌بندی ریسک‌های مختل‌کننده.** در این بخش اهمیت هر یک از ریسک‌های مختل‌کننده «شرکت فولاد اصفهان» در خصوص تأمین الکتروود گرافیتی با توجه به نظر خبرگان به‌دست می‌آید؛ اما ریسک‌های تأمین این ماده به خود تأمین‌کنندگان نیز وابسته است. برای مثال، یک شرکت به‌دلیل بستن قرارداد بلندمدت ریسک کمتری در خصوص افزایش قیمت نسبت به سایر شرکت‌ها دارد؛ به‌عبارت‌دیگر ریسک‌ها بر شرکت‌ها تأثیر می‌گذارند. الکتروود گرافیتی چهار تأمین‌کننده اصلی خارجی دارد که عبارت‌اند از:

A.HEG B.Fangda C.Hugian D.SGL

از سوی دیگر ریسک‌های شناسایی‌شده برای هر شرکت وزن و اهمیت متفاوتی دارند؛ به‌عبارت‌دیگر شرکت‌ها نیز بر ریسک‌ها تأثیر می‌گذارند و وزن و اهمیت ریسک‌های شناسایی‌شده برای هر شرکت متفاوت است؛ بنابراین برای رتبه‌بندی و وزن‌دهی به شرکت‌ها و ریسک‌های مختل‌کننده باید از ساختار شبکه‌ای استفاده کرد که ساختار مربوطه در شکل ۳، نشان داده شده است.



شکل ۳. فرم بازشده فرایند تحلیل شبکه‌ای برای مدل پژوهش

با توجه به ساختار شبکه‌ای بالا، ۸ جدول مقایسات زوجی در دو کلاستر جداگانه طراحی شده و پنلی از خبرگان شرکت تشکیل شد؛ سپس داده‌های جدول‌ها با توجه به نظر آن‌ها و به‌صورت

توافق جمعی به‌دست آمدند. چهار جدول که نمایانگر تأثیرپذیری عناصر کلاستر ۱ هستند تشکیل شده و وزن تأمین‌کنندگان از لحاظ هر ریسک محاسبه شد؛ همچنین چهار جدول دیگر که نمایانگر تأثیرپذیری عناصر کلاستر ۲ هستند نیز تشکیل شد و وزن ریسک‌های مختلف برای هر یک از تأمین‌کنندگان به‌دست آمد؛ درنهایت وزن‌های نسبی به‌دست‌آمده از این ۸ جدول وارد سوپرماتریس شدند که در جدول ۳ داده شده است. با توجه به این نتایج ملاحظه می‌شود که از نظر خبرگان شرکت فولاد، تأمین‌کننده C بیشترین ریسک را در خصوص افزایش قیمت دارد. این در حالی است که تأمین‌کننده D کمترین ریسک افزایش قیمت را دارد و علت آن بستن قرارداد طولانی‌مدت با شرکت یادشده است؛ از جهت دیگر تأمین‌کننده D بیشترین ریسک را هم از لحاظ عدم‌انعطاف‌پذیری و هم از لحاظ زمان سفارش طولانی دارد. از لحاظ ریسک کیفیت پایین نیز تأمین‌کننده A نامطلوب‌ترین شرکت است.

پس از به‌توان‌رساندن سوپرماتریس و حل آن، وزن نهایی ریسک‌های مختل‌کننده و همچنین وزن نهایی هر یک از تأمین‌کنندگان الکتروود گرافیتی به‌دست می‌آید که مقادیر آن‌ها به‌ترتیب در جدول‌های ۴ و ۵ داده شده است. با توجه به جدول ۴، مهم‌ترین ریسک از نظر خبرگان شرکت، ریسک عدم‌انعطاف‌پذیری در ظرفیت تولید تأمین‌کنندگان با وزن  $0/5436$  است؛ همچنین با توجه به وزن نهایی تأمین‌کنندگان در جدول ۵، ملاحظه می‌شود که بهترین تأمین‌کننده، تأمین‌کننده D است.

جدول ۳. سوپرماتریس برای مدل شبکه‌ای پژوهش

	A	B	C	D	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
A	۰	۰	۰	۰	۰/۲۶۱	۰/۱۸۰	۰/۲۸۱	۰/۱۱۸
B	۰	۰	۰	۰	۰/۱۶۹	۰/۲۱۹	۰/۱۷۹	۰/۱۷۱
C	۰	۰	۰	۰	۰/۴۵۱	۰/۱۱۲	۰/۴۵۰	۰/۳۰۱
D	۰	۰	۰	۰	۰/۱۱۹	۰/۴۸۹	۰/۰۹۰	۰/۴۱۰
R <sub>1</sub>	۰/۱۹۱	۰/۱۵۰	۰/۰۴۵	۰/۰۴۳	۰	۰	۰	۰
R <sub>2</sub>	۰/۴۱۸	۰/۴۶۸	۰/۶۲۰	۰/۶۰۲	۰	۰	۰	۰
R <sub>3</sub>	۰/۲۷۱	۰/۲۴۸	۰/۰۷۲	۰/۱۹۶	۰	۰	۰	۰
R <sub>4</sub>	۰/۱۲۱	۰/۱۳۴	۰/۲۶۳	۰/۱۵۹	۰	۰	۰	۰

جدول ۴. وزن ریسک‌های مرتبط با تأمین‌کنندگان الکتروود گرافیتی

R <sub>4</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	ریسک‌ها
۰/۱۷۱۶	۰/۱۹۱۱	۰/۵۴۳۶	۰/۰۹۳۷	وزن هر ریسک



جدول ۵. وزن‌ها و اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان

D	C	B	A	تأمین‌کنندگان
۰/۳۶۴۵	۰/۲۴۰۸	۰/۱۹۸۴	۰/۱۹۶۳	وزن هر تأمین‌کننده

طراحی مدل ریاضی کاهش ریسک‌های مختل‌کننده شرکت. هدف این بخش، طراحی مدل ریاضی برای حداقل کردن اثر ریسک‌های مختل‌کننده در زنجیره تأمین «شرکت فولاد مبارکه اصفهان» است. برای این منظور ابتدا مقادیر پارامترهای مدل باید مشخص شوند که در جدول ۶ ارائه شده است. پارامترهای هزینه فعلی، زمان تأخیر فعلی و کیفیت فعلی تأمین‌الکتروود گرافیتی و همچنین میزان تقاضای دوره‌های آتی شرکت به این محصول با نسبت‌های یکسان تغییر یافته و در جدول یادشده آورده شده است. مقدار پارامترهای ریسک‌های شرکت‌ها نیز از جدول‌های مقایسات زوجی به‌دست آمده‌اند. مقادیر تولید بدون ریسک و همچنین مقادیر توأم با ریسک برای هر یک از تأمین‌کنندگان نیز با توجه به روندهای گذشته تولید و طبق نظر خبرگان شرکت فولاد برآورد شده‌اند.

جدول ۶. مقادیر پارامترهای مدل طراحی‌شده

پارامتر	نماد	تأمین‌کننده A	تأمین‌کننده B	تأمین‌کننده C	تأمین‌کننده D
ریسک افزایش قیمت تأمین‌کننده	$RP_i$	۰/۴۶۱	۰/۱۶۹	۰/۴۵۱	۰/۱۱۹
هزینه فعلی تأمین هر واحد محصول	$P_{0i}$	۴۵	۴۲	۳۹	۴۷
ریسک عدم‌انعطاف‌پذیری	$RF_i$	۰/۱۸۰	۰/۲۱۹	۰/۱۱۲	۰/۴۸۹
ریسک زمان تأخیر شرکت تأمین‌کننده	$RL_i$	۰/۲۸۱	۰/۱۷۹	۰/۴۵۰	۰/۰۹۰
زمان تأخیر فعلی تأمین‌کننده	$L_{0i}$	۲۷	۲۳	۳۵	۱۹
ریسک کیفیت تأمین‌کننده	$RQ_i$	۰/۱۱۸	۰/۱۷۱	۰/۳۰۱	۰/۴۱۰
کیفیت فعلی تأمین‌کننده	$Q_{0i}$	۳/۷	۳/۹	۴/۴	۳/۵
میزان تقاضا الکتروود	$D_j$	۶۵۲۱	۷۳۹۴	۷۴۱۷	۸۶۶۹
مقدار تولید بدون ریسک در دوره ۱	$PN_{ij}$	۳۸۲۵	۳۱۲۵	۳۴۲۹	۲۵۱۷
مقدار تولید بدون ریسک در دوره ۲		۳۹۱۷	۳۲۱۷	۳۴۸۳	۲۵۳۹
مقدار تولید بدون ریسک در دوره ۳		۴۰۴۹	۳۲۵۶	۳۵۱۶	۲۵۸۲
مقدار تولید بدون ریسک در دوره ۴		۴۱۲۲	۳۲۷۵	۳۵۷۴	۲۶۲۱
مقدار تولید توأم با ریسک در دوره ۱	$PR_{ij}$	۶۲۴	۴۹۹	۸۳۹	۵۲۲
مقدار تولید توأم با ریسک در دوره ۲		۶۳۹	۵۱۷	۸۶۵	۵۴۶
مقدار تولید توأم با ریسک در دوره ۳		۶۵۶	۵۲۳	۸۹۱	۵۵۹
مقدار تولید توأم با ریسک در دوره ۴		۶۷۲	۵۵۲	۹۱۵	۵۷۳

«شرکت فولاد مبارکه»، چهار ریسک اصلی در رابطه با محصول الکتروود گرافیتی دارد که هدف این پژوهش حداقل‌سازی آن‌ها است؛ بنابراین چهار تابع هدف در این پژوهش وجود دارد که به‌صورت زیر است:

- تابع هدف اول: حداقل‌سازی ریسک افزایش قیمت الکتروود گرافیتی؛

- تابع هدف دوم: حداقل‌سازی ریسک عدم انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده؛

- تابع هدف سوم: حداقل‌سازی ریسک زمان تحویل طولانی سفارش‌ها؛

- تابع هدف چهارم: حداقل‌سازی ریسک کیفیت پایین الکتروود گرافیتی ارسالی.

مدل مورد استفاده در این پژوهش شامل پنج نوع محدودیت به‌صورت زیر است:

- محدودیت‌های نوع اول: محدودیت مربوط به برآورده شدن تقاضای چهار دوره؛

- محدودیت‌های نوع دوم و سوم: محدودیت‌های سقف خرید بدون ریسک و دارای ریسک الکتروود گرافیتی از هر تأمین‌کننده در هر دوره؛

- محدودیت‌های نوع چهارم: محدودیت‌های قراردادهای متوالی با تأمین‌کنندگان A و B به‌گونه‌ای که اگر در یک دوره با آن‌ها قرارداد بسته نشود امکان بستن قرارداد با آن‌ها در دوره‌های بعد وجود ندارد؛

- محدودیت‌های نوع پنجم: محدودیت‌های بستن قرارداد با حداقل دو تأمین‌کننده در هر دوره؛

- محدودیت‌های نوع ششم: محدودیت‌های غیرمنفی و صفر و یک بودن متغیرهای مسئله.

**حل مدل طراحی شده.** مدل پیشنهادی این پژوهش دارای ۴ تابع هدف است که وزن‌های آن‌ها به‌ترتیب  $0/0937$  و  $0/5436$  و  $0/1911$  و  $0/1716$  است؛ بنابراین اولویت اول تا چهارم اهداف پژوهش به‌ترتیب مربوط به اهداف ۲ و ۳ و ۴ و ۱ است. برای حل این مدل با اهداف چهارگانه از دو رویکرد اولویت مطلق و برنامه‌ریزی آرمانی استفاده می‌شود که در ادامه تشریح می‌گردند. همچنین نتایج حاصل از این دو روش نیز با هم مقایسه شده است.

**الف) روش اولویت مطلق برای حل مدل ارائه شده.** در این بخش از روش اولویت مطلق برای حل مدل طراحی شده با اهداف چندگانه استفاده شد. علت استفاده از روش اولویت مطلق، تفاوت معنادار اهمیت ریسک‌های مرتبط با تأمین الکتروود گرافیتی است؛ بنابراین در این روش ابتدا مدل فقط با مهم‌ترین هدف، یعنی هدف ۲، حل شد و مقدار بهینه آن به‌دست آمد که برابر با صفر است. در گام بعد مدل با هدف دارای اولویت دوم، یعنی تابع هدف ۳، حل شد؛ اما مقدار بهینه هدف دارای اولویت به‌عنوان محدودیت به مدل اضافه گردید. به همین صورت مدل

پژوهش تا اولویت آخر حل شد. نتایج حل مدل با رویکرد اولویت مطلق در جدول ۷، ارائه شده است.

جدول ۷. نتایج رویکرد اولویت مطلق از خروجی نرم‌افزار لیندو (هزارتن)

$T_{A1} = T_{A2} = T_{A3} = T_{A4} = T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = T_{D1} = T_{D2} = T_{D3} = T_{D4} = 1$			
$X_{A1} = 1442$	$X_{A2} = 0$	$X_{A3} = 0$	$X_{A4} = 0$
$Y_{A1} = 0$	$Y_{A2} = 0$	$Y_{A3} = 0$	$Y_{A4} = 0$
$X_{B1} = 3917$	$X_{B2} = 3217$	$X_{B3} = 3483$	$X_{B4} = 3539$
$Y_{B1} = 0$	$Y_{B2} = 0$	$Y_{B3} = 0$	$Y_{B4} = 0$
$X_{C1} = 0$	$X_{C2} = 0$	$X_{C3} = 0$	$X_{C4} = 0$
$Y_{C1} = 0$	$Y_{C2} = 0$	$Y_{C3} = 0$	$Y_{C4} = 0$
$X_{D1} = 4122$	$X_{D2} = 3275$	$X_{D3} = 3574$	$X_{D4} = 3621$
$Y_{D1} = 0$	$Y_{D2} = 0$	$Y_{D3} = 0$	$Y_{D4} = 0$
$I_1 = 3897$	$I_2 = 2995$	$I_3 = 2635$	

**ب) روش برنامه‌ریزی آرمانی برای حل مدل ارائه‌شده.** در این بخش ابتدا چهار مدل برنامه‌ریزی ریاضی با اهداف جداگانه حل شد تا مقادیر بهینه هر یک از ریسک‌های تأمین الکتروود گرافیتی به صورت مجزا به دست آید. بدین ترتیب مقادیر بهینه ریسک افزایش قیمت، ریسک عدم‌انعطاف‌پذیری، ریسک زمان تحویل طولانی سفارش‌ها، و ریسک کیفیت پایین به ترتیب برابر با  $189016/7$ ،  $0$ ،  $83873/9$  و  $1662/7$  به دست آمد؛ سپس یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی طراحی شد که علاوه بر محدودیت‌های ساختاری مدل، شامل ۴ محدودیت آرمانی برای هر یک از ریسک‌های تأمین الکتروود گرافیتی بود که در ادامه تشریح می‌شوند. در این محدودیت‌ها از متغیرهای  $\pi_i$  و  $\rho_i$  به ترتیب برای نشان‌دادن انحرافات مطلوب و نامطلوب از آرمان نام استفاده شد. تابع هدف این مدل نیز حداقل کردن انحرافات نامطلوب برای ۴ محدودیت آرمانی به صورت وزن دار است؛ به عبارت دیگر به هر یک از انحرافات نامطلوب در تابع هدف وزنی داده شد که از مقایسه زوجی اهمیت ریسک‌ها و با توجه به نظر خبرگان به دست آمده بود؛ بنابراین تابع هدف به صورت زیر ارائه شد:

$$\text{Min } 0.0937p_1 + 0.5436p_2 + 0.1911p_3 + 0.1716p_4$$

با حل مدل برنامه‌ریزی آرمانی بالا مقادیر انحرافات نامطلوب از چهار آرمان ارائه‌شده به ترتیب برابر با صفر،  $1075/8$ ، صفر و  $891/4$  به دست آمد؛ به عبارت دیگر دو آرمان اول و سوم به طور کامل برآورده شدند؛ اما آرمان‌های دوم و چهارم دارای انحراف بودند و به طور کامل برآورده نشدند. سایر نتایج حل مدل در جدول ۸، ارائه شده است.

جدول ۸. نتایج حاصل از روش برنامه‌ریزی آرمانی از خروجی نرم‌افزار لیندو (هزار تن)

$T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = T_{D1} = T_{D2} = T_{D3} = T_{D4} = 1$			
$X_{A1} = 0$	$X_{A2} = 0$	$X_{A3} = 0$	$X_{A4} = 0$
$Y_{A1} = 0$	$Y_{A2} = 0$	$Y_{A3} = 0$	$Y_{A4} = 0$
$X_{B1} = ۳۱۵۹$	$X_{B2} = ۳۲۱۷$	$X_{B3} = ۳۴۸۳$	$X_{B4} = ۳۵۳۹$
$Y_{B1} = 0$	$Y_{B2} = 0$	$Y_{B3} = 0$	$Y_{B4} = 0$
$X_{C1} = 0$	$X_{C2} = 0$	$X_{C3} = 0$	$X_{C4} = 0$
$Y_{C1} = 0$	$Y_{C2} = 0$	$Y_{C3} = 0$	$Y_{C4} = 0$
$X_{D1} = ۴۱۲۲$	$X_{D2} = ۳۲۷۵$	$X_{D3} = ۳۵۷۴$	$X_{D4} = ۳۶۲۱$
$Y_{D1} = ۵۲۲$	$Y_{D2} = ۵۴۶$	$Y_{D3} = ۵۵۹$	$Y_{D4} = ۵۷۳$
$I_1 = ۲۲۱۹$	$I_2 = ۱۸۶۳$	$I_3 = ۲۰۶۲$	

ج) مقایسه نتایج به دست آمده از دو روش اولویت مطلق و برنامه‌ریزی آرمانی. در این پژوهش پس از شناسایی چهار ریسک اصلی تأمین الکتروود گرافیتی، مدل‌های بهینه‌سازی ارائه شد تا مقدار این ریسک‌ها را حداقل کند. در جدول ۹، مقدار بهینه این ریسک‌ها با ۳ رویکرد متفاوت ارائه شده است که عبارت‌اند از: حل مدل بهینه‌سازی جداگانه برای کاهش هر ریسک؛ رویکرد اولویت مطلق و روش برنامه‌ریزی آرمانی. با توجه به جدول ۹، مقدار ریسک عدم‌انعطاف‌پذیری در روش اولویت مطلق و در روش برنامه‌ریزی آرمانی به ترتیب برابر با صفر و ۱۰۷۵/۸ است؛ زیرا این ریسک مهم‌ترین ریسک در خصوص تأمین الکتروود گرافیتی است و زمانی که با روش اولویت مطلق حل می‌شود، بهترین مقدار بهینه برای آن به دست می‌آید. به‌طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده مقادیر ریسک‌های عدم‌انعطاف‌پذیری و کیفیت پایین در روش اولویت مطلق مطلوب‌تر است؛ در حالی که ریسک‌های افزایش قیمت و زمان تحویل طولانی سفارش‌ها در روش برنامه‌ریزی آرمانی به مقادیر بهتری دست یافته‌اند.

جدول ۹. مقایسه نتایج حاصل از حداقل‌سازی ریسک‌های مرتبط با الکتروود گرافیتی با رویکردهای مختلف

مشخصات کلی هر ریسک		مقدار بهینه هر ریسک در رویکردهای مختلف			
ریسک‌های تأمین الکتروود گرافیتی	وزن هر ریسک	اولویت ریسک‌ها	مدل جداگانه برای هر ریسک	روش اولویت مطلق	برنامه‌ریزی آرمانی
ریسک افزایش قیمت	۰/۰۹۳۷	۴	۱۸۹۰۱۶/۷	۱۹۹۰۲۸/۶	۱۸۹۰۱۶/۷
ریسک عدم‌انعطاف‌پذیری	۰/۵۴۳۶	۱	۰	۰	۱۰۷۵/۸
ریسک زمان تحویل طولانی سفارش‌ها	۰/۱۹۱۱	۲	۸۳۸۷۳/۹	۹۴۱۷۳	۸۳۸۷۳/۹
ریسک کیفیت پایین	۰/۱۷۱۶	۳	۱۶۶۲/۷	۲۴۳۹/۷	۲۵۵۴/۲

## ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش رویکردی ترکیبی ارائه شد که در مرحله نخست آن با توجه به نظر خبرگان ریسک‌های مختل‌کننده زنجیره تأمین شرکت فولاد درخصوص تأمین‌کنندگان ماده حیاتی الکتروود گرافیتی پیش‌بینی شده و با روش فرایند تحلیل شبکه‌ای، اهمیت هر یک از آن‌ها تعیین شد. در مرحله دوم با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه، میزان تأمین الکتروود گرافیتی برای حالت چنددوره‌ای مشخص شد؛ به‌گونه‌ای که وزن هر یک از این اهداف از نظر خبرگان استخراج شدند. این رویکرد کمک می‌کند تا سیاست‌های آتی شرکت درخصوص بستن قرارداد با تأمین‌کنندگان مختلف بر اساس ریسک‌های پیش‌بینی‌شده‌ای باشد که ممکن است در آینده رخ دهند. با در نظر گرفتن این موضوع می‌توان پیشنهادهایی برای انجام مطالعات و پژوهش‌های آتی ارائه کرد که از آن جمله لحاظ کردن معیارهای توسعه پایدار به همراه مدل‌سازی تاب‌آور در زنجیره تأمین است؛ همچنین در پژوهش‌های آتی می‌توان سیاست‌های تخفیفی در قسمت خرید مواد مصرفی از تأمین‌کنندگان را در مدل لحاظ کرد. به‌علاوه با توجه به اینکه ریسک‌های شناسایی‌شده برای دوره‌های آتی هستند، می‌توان عدم قطعیت در پارامترهای مدل را به‌صورت احتمالی یا فازی نشان داد؛ همچنین در این پژوهش یک مدل تک‌محصولی مدنظر قرار گرفت که می‌توان رویکرد ارائه‌شده را برای یک مدل چندمحصولی بسط و توسعه داد.

## منابع

1. Adeli, M., Zandieh, M. (2013). Presenting a simulation of optimization multi-objective approach for sourcing model and decision of integrating inventories. *Journal of Industrial Management Perspective*, 11, 89-110 (In Persian).
2. Aghajani, H., Samadi Miarkolaei, H., Farmanzadeh, M. (2014). Investigation and Evaluation of Supply Chain Resilience with Fuzzy Logic Approach (Empirical Evidence: Automobile Parts Manufacturing Industry in Mazandaran Province). *Journal of Industrial Management Faculty of Humanities*, 27, 83-94 (In Persian).
3. Azhmyakov, V., Fernández-Gutiérrez, J. P., & Gadi, S. K. (2016). A Novel Numerical Approach to the MCLP Based Resilient Supply Chain Optimization. *IFAC-Papers on Line*, 49(31), 137-142.
4. Barroso, A. P., Machado, V. H., & Machado, V. C. (2011). Supply chain resilience using the mapping approach. In *Supply chain management*. InTech.
5. Bittante, A., Pettersson, F., & Saxén, H. (2018). Optimization of a small-scale LNG supply chain. *Energy*, 148, 79-89.
6. Brusset, X., & Teller, C. (2017). Supply chain capabilities, risks, and resilience. *International Journal of Production Economics*, 184, 59-68.
7. Bunderson, J.S., & Sutcliffe, K.M. (2002). Comparing alternative conceptualization of functional diversity in management teams: process and performance effects. *Academy of Management Journal*, 45, 847-93.
8. Carvalho, H., & Machado, V. C. (2007). Designing principles to create resilient supply chains. In *IIE Annual Conference. Proceedings* (p. 186). Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE).
9. Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. *The international journal of logistics management*, 15(2), 1-14.
10. Christopher, M. (2005). Managing risk in the supply chain. *Supply Chain Practice*, 7(2), 4.
11. Das, K. (2018). Integrating resilience in a supply chain planning model. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 35(3), 570-595.
12. Datta, P. P., Christopher, M., & Allen, P. (2007). Agent-based modelling of complex production/distribution systems to improve resilience. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 10(3), 187-203.
13. De Jong, S., Hoefnagels, R., Wetterlund, E., Pettersson, K., Faaij, A., & Junginger, M. (2017). Cost optimization of biofuel production ° The impact of scale, integration, transport and supply chain configurations. *Applied energy*, 195, 1055-1070.
14. Falasca, M., Zobel, C. W., & Cook, D. (2008, May). A decision support framework to assess supply chain resilience. In *Proceedings of the 5th International ISCRAM Conference* (pp. 596-605).
15. Gaonkar, R. S., & Viswanadham, N. (2007). Analytical framework for the management of risk in supply chains. *IEEE Transactions on automation science and engineering*, 4(2), 265-273.
16. Ghazanfari, M., Riazi, A., Kazemi, M. (2001). Supply Chain Management. *Journal of Tadbir*, 117, 20-27 (In Persian).
17. Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., Sheu, J. B., & Moghadam, H. S. (2016). Designing a supply chain resilient to major disruptions and supply/demand interruptions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 94, 121-149.

18. Ji, G., & Zhu, C. (2008, June). Study on supply chain disruption risk management strategies and model. In *Service Systems and Service Management, 2008 International Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
19. Jüttner, U., & Maklan, S. (2011). Supply chain resilience in the global financial crisis: an empirical study. *Supply Chain Management: An International Journal, 16*(4), 246-259.
20. Kamalahmadi, M., & Parast, M. M. (2016). A review of the literature on the principles of enterprise and supply chain resilience: Major findings and directions for future research. *International Journal of Production Economics, 171*, 116-133.
21. Kim, Y., Chen, Y. S., & Linderman, K. (2015). Supply network disruption and resilience: A network structural perspective. *Journal of operations Management, 33*, 43-59.
22. Maheshwari, P., Singla, S., & Shastri, Y. (2017). Resiliency optimization of biomass to biofuel supply chain incorporating regional biomass pre-processing depots. *Biomass and bioenergy, 97*, 116-131.
23. Margolis, J. T., Sullivan, K. M., Mason, S. J., & Magagnotti, M. (2018). A multi-objective optimization model for designing resilient supply chain networks. *International Journal of Production Economics, 204*, 174-185.
24. Mavi, R. K., Goh, M., & Mavi, N. K. (2016). Supplier selection with Shannon entropy and fuzzy TOPSIS in the context of supply chain risk management. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 235*, 216-225.
25. Melnyk, S. A., Closs, D. J., Griffis, S. E., Zobel, C. W., and Macdonald, J. R. (2014). Understanding supply chain resilience. *Supply Chain Management Review, 18*(1), 34-41.
26. Mori, M., Kobayashi, R., Samejima, M., & Komoda, N. (2017). Risk-cost optimization for procurement planning in multi-tier supply chain by Pareto Local Search with relaxed acceptance criterion. *European Journal of Operational Research, 261*(1), 88-96.
27. Nguyen, D. H., & Chen, H. (2018). Supplier selection and operation planning in biomass supply chains with supply uncertainty. *Computers & Chemical Engineering, 118*, 103-117.
28. Pettit, T.J., Fiksel, J., Croxton, K.L. (2008). Ensuring supply chain resilience: Development of a conceptual framework. *Journal of Business Logistics banner, 31*(1), 1-21.
29. Pickett, C. (2006). Prepare for supply chain disruptions before they hit. *Logistics Today, 47*(6), 22-25.
30. Ponomarov, S. Y., & Holcomb, M. C. (2009). Understanding the concept of supply chain resilience. *The international journal of logistics management, 20*(1), 124-143.
31. Ponis, S. T., & Koronis, E. (2012). Supply chain resilience: definition of concept and its formative elements. *Journal of Applied Business Research, 28*(5), 921.
32. Rabieh, M., Azar, A., Modarres Yazdi, M., Fetanatfard Haghghi, M. (2011). Designing a robust multi° objective mathematical model of sourcing: an approach to reducing supply chain risks (Case study: Iran khodro supply chain). *Journal of Industrial Management Perspective, 1*, 57-77 (In Persian).
33. Rice, J. B., & Caniato, F. (2003). Building a secure and resilient supply network. *Supply Chain Management Review, 7*(5), 22-30.

34. Roberta Pereira, C., Christopher, M., & Lago Da Silva, A. (2014). Achieving supply chain resilience: the role of procurement. *Supply Chain Management: an international journal*, 19(5/6), 626-642.
35. Sampat, A. M., Martin, E., Martin, M., & Zavala, V. M. (2017). Optimization formulations for multi-product supply chain networks. *Computers & Chemical Engineering*, 104, 296-310.
36. Sheffi, Y. (2005). *The resilient enterprise: overcoming vulnerability for competitive advantage*. MIT Press Books, 1.
37. Soren, A., & Shastri, Y. (2018). Optimization based design of a resilient biomass to energy system. *In Computer Aided Chemical Engineering*, 43, 797-802.
38. Talebi, D., Ayron, F. (2015). Identifying supply chain risks and selecting suppliers using the network analysis process (The case study: Automobile industry). *Journal of Industrial Management Perspective*, 17, 31-43 (In Persian).
39. Tang, C. S. (2006). Robust strategies for mitigating supply chain disruptions. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 9(1), 33-45.
40. Zhang, C., Nemhauser, G., Sokol, J., Cheon, M. S., & Keha, A. (2018). Flexible solutions to maritime inventory routing problems with delivery time windows. *Computers & Operations Research*, 89, 153-162.
41. Zhao, S., Liu, X., & Zhuo, Y. (2017). Hybrid Hidden Markov Models for resilience metrics in a dynamic infrastructure system. *Reliability Engineering & System Safety*, 164, 84-97.

