

بازطراحی شبکه زنجیره تامین خرده‌فروشی بر اساس قابلیت‌های چندگانه بازگشت‌پذیری

رضا علیخانی¹، سید علی ترابی^{2*}

1- دانشجوی دکترای مدیریت صنعتی، پردیس البرز، دانشگاه تهران، تهران، ایران
2- استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پذیرش: 1397/5/3

دریافت: 1396/12/25

چکیده

روند رو به افزایش اختلالات زنجیره‌های تامین، اهمیت بررسی استراتژی‌های بازگشت‌پذیری را بیشتر نموده است. پژوهش حاضر یک مدل برنامه ریزی تصادفی دو مرحله‌ای عدد صحیح سناریو-محور برای رویارویی با ریسک‌های عملیاتی و اختلال در یک شبکه زنجیره تامین خرده‌فروشی ارائه می‌نماید. مدل پیشنهادی تصمیمات قبل و بعد از بروز اختلال را در نظر می‌گیرد. پنج استراتژی بازگشت‌پذیری در برگیرنده ابعاد مختلف قابلیت‌های بازگشت‌پذیری اعم از پیش‌کنشی، واکنشی و کیفیت طراحی زنجیره (شامل مستحکم‌سازی تسهیلات، نگهداری موجودی احتیاطی، ایجاد ظرفیت اضافی در برخی گره‌های شبکه، استفاده از سیاست تحویل مستقیم به فروشگاهها و پوشش چندگانه فروشگاهها)، در نظر گرفته شده است. مدل ارائه شده برای یک مطالعه موردی در صنعت خرده‌فروشی بکار گرفته شده است. تحلیل حساسیت روی پارامترهای اصلی انجام شده و رهنمودهای مدیریتی از آنها استخراج شده است. نتایج مدل نشان دهنده تاثیر مثبت بکارگیری استراتژی‌های بازگشت‌پذیری در کاهش هزینه کل در طراحی شبکه زنجیره تامین خرده‌فروشی می‌باشد.

واژگان کلیدی: بازطراحی شبکه زنجیره تامین خرده‌فروشی؛ استراتژی‌های بازگشت‌پذیری؛
برنامه ریزی تصادفی دو مرحله‌ای

1- مقدمه

در محیط متلاطم و ناپایدار حاضر، هر سازمانی در معرض اختلالات زنجیره تامین قرار دارد [1]. از اینرو، فهم چگونگی رویارویی با اختلالات در زنجیره تامین از موضوعات داغ و مورد توجه محافل علمی و مدیران شرکت‌ها قرار گرفته است [2]. اختلالات زنجیره تامین به حالتی اشاره دارد که جریان کالا یا خدمت رسانی با وقفه همراه گردد که منجر به وقوع پیامدهای مالی، کاهش سهم بازار گردیده و همچنین عملکرد عملیاتی شرکت را با مشکل مواجه می‌سازد [4]، [3]. در پژوهشی، هشتاد درصد شرکت‌های بزرگ بازگشت‌پذیری در برابر اختلالات زنجیره تامین را از اهم اولویت‌های خود اعلام کردند [5]. پژوهش‌های بسیاری بازگشت‌پذیری زنجیره تامین را به عنوان راه حلی کارا برای مدیریت ریسک و فائق آمدن بر اختلالات زنجیره تامین معرفی کرده‌اند. [8]–[6]. با توجه به اهمیت بازگشت‌پذیری زنجیره تامین در هنگام بروز اختلال، مفهوم سازی جامع از بازگشت‌پذیری زنجیره تامین از درجه اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین توسعه توانمندی‌های بازگشت‌پذیری پیش‌کنشی و واکنشی¹ به منظور افزایش سطحی از آمادگی، مقابله و بازسازی در گام قبل و بعد از فاجعه ضروری به نظر می‌رسد. در غیر این صورت، فعالیت‌های زنجیره تامین تداوم کسب و کار خود را از دست خواهد داد که به صورت منفی جریان‌های درآمدی و هزینه را در کل زنجیره تحت تاثیر قرار می‌دهد. به جز استراتژی‌های پیش‌کنشی و واکنشی، پژوهش‌هایی [9]، [2] بر کیفیت طراحی زنجیره تامین در توسعه بازگشت‌پذیری تاکید داشته‌اند.

یکی از مهمترین زنجیره‌های تامین فعال در همه کشورها، زنجیره‌های تامین خرده‌فروشی² می‌باشد. از آنجا که کارکرد یک شبکه زنجیره تامین خرده‌فروشی به طور مستقیم با زندگی افراد جامعه سروکار دارد، بررسی اختلالات و فروپاشی چنین شبکه‌هایی و همچنین بازگشت‌پذیر نمودن آنها در برابر انواع اختلالات از اهمیت دو چندان برخوردار می‌گردد. به گزارش موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، سهم زنجیره‌های تامین خرده‌فروشی در تولید ناخالص داخلی کشور ایران برای 20 سال گذشته به طور متوسط

1. Proactive and reactive
2. Retail supply chains

نزدیک به 17 درصد بوده، که بسیار چشمگیر و قابل تامل است، حال آنکه کمتر مورد توجه واقع گردیده است.

در پژوهشی [10] نشان دادند بازگشت‌پذیری زنجیره تامین یک ساختار چند بعدی است که دارای ابعادی از قبیل: توانمندی پیش‌کنشی زنجیره تامین، توانمندی واکنشی و کیفیت طراحی زنجیره تامین¹ می‌باشد. بر این اساس پژوهش حاضر با مدلسازی یک شبکه زنجیره تامین خرده‌فروشی و با بکارگیری برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای در ادبیات این موضوع، مشارکت‌هایی در بازطراحی شبکه به منظور افزایش بازگشت‌پذیری و کاهش هزینه‌های زنجیره تامین، خواهد داشت. از آنجا که ریسک‌های عملیاتی و اختلال زنجیره تامین کمتر بررسی شده است، سعی بر آن است که با بررسی استراتژی‌های چندگانه که ابعاد پیش‌گفته قابلیت‌های بازگشت‌پذیری را مورد پوشش قرار می‌دهند را بررسی خواهیم کرد و نشان خواهیم داد که مدل پیشنهادی چگونه می‌تواند در برابر اختلالات مؤثر واقع گردد.

ادامه پژوهش حاضر بدین صورت سازماندهی شده است: بخش دوم به ارائه پژوهش‌های مرتبط با طراحی زنجیره تامین بازگشت پذیر می‌پردازد. تعریف مسئله همراه با مدلسازی شبکه زنجیره تامین در فصل سوم ارائه می‌گردد. فصل چهارم به تحلیل مدل پیشنهادی می‌پردازد و بینش‌های مدیریتی را ارائه می‌دهد. بخش پنجم نیز به نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای پژوهش‌های آتی می‌پردازد.

2- مرور ادبیات

پژوهش‌های زیادی به طور مبسوط بازگشت‌پذیری زنجیره تامین را بررسی کرده‌اند. برای مثال خوانندگان علاقه‌مند می‌توانند مقالات مروری [11]-[13] را بررسی کنند. تعاریف گوناگونی برای بازگشت‌پذیری زنجیره تامین ارائه گردیده است، هرچند هنوز تعریف واحدی که مورد قبول همگان واقع شود وجود ندارد. [14] بازگشت‌پذیری زنجیره تامین را توانمندی در پیش‌بینی و چیره شدن بر اختلالات زنجیره تامین تعریف می‌نماید. [15]

1. Supply chain design quality

بازگشت‌پذیری را به عنوان توانمندی بازیابی سریع بعد از یک اختلال در زنجیره در نظر می‌گیرد. همچنین توانایی پاسخگویی به اختلالات و بازگشت به حالت طبیعی عملیات از دیگر تعاریف بازگشت‌پذیری در زنجیره تامین می‌باشد [16]. پژوهش حاضر بازگشت‌پذیری زنجیره تامین را بدین گونه تعریف می‌نماید: توانمندی زنجیره تامین به گونه‌ای که آمادگی رویارویی با اختلالات زنجیره تامین را داشته و چنانچه اختلالی رخ داد توانمندی واکنش سریع به آن را داشته باشد در حالی که ملاحظات هزینه را در نظر داشته باشد. تعریف یاد شده در برگزیده ابعاد مختلف بازگشت‌پذیری زنجیره تامین می‌باشد از اینرو، در این مقاله بررسی ادبیات بازگشت‌پذیری زنجیره تامین به دو بخش تقسیم می‌گردد:

2-1- ابعاد بازگشت‌پذیری زنجیره تامین

توانمندی پیش‌کنشی. زنجیره‌های تامین نیازمند استراتژی‌های پیش‌کنشی برای رویارویی با اختلالات می‌باشند [7]. استراتژی‌های پیش‌کنشی این توانمندی را برای زنجیره تامین فراهم می‌آورد تا شوک‌های وارد به زنجیره تامین را با توجه به استراتژی‌هایی از قبل مشخص شده جذب کرده و پیامدهای آنها را حداقل نماید. پژوهشگران زنجیره تامین استراتژی‌های مختلف پیش‌کنشی همانند افزونگی¹، ظرفیت اضافی، استواری، تطابق پذیری، همکاری، یکپارچگی، توانمندی مالی و کارایی را بررسی کرده‌اند [17]، [14]. همچنین مطالعاتی پیرامون سرعت، رویت‌پذیری [7]، برنامه‌ریزی از قبل، کاردانی²، کیفیت ارتباط خریدار-فروشنده، آمادگی و سرعت در کاهش اختلالات در سازمان‌ها و زنجیره تامین آنها [1] به عنوان دیگر استراتژی‌های پیش‌کنشی بررسی شده‌اند.

توانمندی واکنشی. این توانمندی در واقع به حالتی اشاره دارد که زنجیره تامین در گام بعد از وقوع اختلال بتواند به سرعت واکنش مناسب نشان داده و متحمل کمترین هزینه ممکن گردد. جنبه واکنشی بازگشت‌پذیری زنجیره تامین بر مبنای توانمندی‌های پاسخگویی³ و بازیابی⁴ در گام بعد از فاجعه می‌باشد. پاسخگویی زنجیره تامین در مورد

1. Redundancy
2. Resourcefulness
3. Response
4. Recovery

کاهش اثر اختلالات در کمترین زمان ممکن می‌باشد [14]. در واقع توانمندی پاسخگویی مبین حالتی است که زنجیره تامین بعد از وقوع یک اختلال بتواند سریعاً فعالیت خود را از سر گیرد در حالیکه توانمندی بازیابی حالتی را تشریح می‌کند که فرایندهای زنجیره تامین به حالت طبیعی خود بازگردند. علیرغم اهمیت توانمندی واکنشی زنجیره تامین استراتژی‌های اندکی برای آن پیشنهاد شده است. در پژوهشی مدیریت تدوam کسب و کار¹ برای بازگشت‌پذیری زنجیره تامین بکار گرفته شد [18]. همچنین انعطاف‌پذیری و چابکی زنجیره تامین از دیگر استراتژی‌های واکنشی هستند که در ادبیات بحث به آنها اشاره شده است [19].

کیفیت طراحی زنجیره تامین. مطالعات زیادی رابطه بین پیکره‌بندی زنجیره تامین و بازگشت‌پذیری زنجیره را بررسی کرده‌اند [20], [2]. در پژوهش‌های انجام شده، تراکم شبکه، پیچیدگی شبکه، و حساسیت گره به عنوان عوامل اصلی طراحی شبکه در نظر گرفته می‌شود [10], [2]. تراکم شبکه در زنجیره‌های تامینی که تعداد زیادی گره در یک موقعیت جغرافیای محدود واقع است بالا است [2]. هنگامی که منبع عرضه یا بازار توزیع در یک منطقه جغرافیایی خاص متمرکز است گره‌های زنجیره تامین در خوشه‌های با تراکم بالا پنداشته می‌شوند. بدیهی است افزایش تراکم آسیب‌پذیری زنجیره را افزایش داده و موجب کاهش بازگشت‌پذیری می‌گردد. پیچیدگی زنجیره تامین به حالتی اشاره دارد که تعداد گره‌ها و ارتباطات یا کمان‌های بین آنها زیاد باشد. در شبکه‌های پیچیده هنگامی که در یک

اختلال رخ می‌دهد، موجب می‌گردد از گره‌ای به گره دیگر انتقال یافته و موجب گسترش اختلال در سرتاسر زنجیره گردد. مشخص است که در شبکه‌هایی که پیچیدگی کمتری وجود دارد، اثر اختلال نیز کمتر می‌باشد. حساسیت گره در واقع بیانگر اهمیت یک گره در شبکه می‌باشد [2]. در یک شبکه زنجیره تامین، بعضی از گره‌ها نقش مهمتری نسبت به دیگر گره‌ها بر اساس مشارکتی که در زنجیره دارند، ایفا می‌کنند. بنابراین ایجاد اختلال در گره‌های حساس اثرات مخرب‌تری نسبت به گره‌های غیر حساس دارد.

2-2- پژوهش‌های پیشین

پژوهش‌های زیادی پیرامون طراحی شبکه زنجیره تامین صورت گرفته است. از اینرو، مقاله حاضر بر پژوهش‌هایی متمرکز می‌گردد که به طور خاص بر طراحی شبکه زنجیره تامین در شرایط عدم اطمینان و یا با رویکرد رویارویی با اختلال توسعه داده شده‌اند. در پژوهشی [9] یک مدل برنامه ریزی تصادفی دو مرحله‌ای برای طراحی شبکه زنجیره تامین با در نظر گرفتن عدم اطمینان عرضه، تقاضا، و ظرفیت توسعه دادند. مدل پیشنهادی بر مبنای سناریو، مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه را فراهم می‌آورد که نیازمند نظر خواهی از مدیران برای طراحی شبکه بهینه می‌باشد. برای کارآمدی بیشتر در هنگام وقوع یک اختلال [21]، سه استراتژی مختلف شامل موجودی مازاد، ظرفیت مازاد، و منبع‌یابی چندگانه به منظور افزایش بازگشت‌پذیری ارائه دادند. در پژوهش مذکور نگهداری موجودی به عنوان بهترین استراتژی هنگامی که تامین کنندگان قابل اتکا نباشند، معرفی گردید. عدم اطمینان در تقاضا در طراحی شبکه زنجیره تامین توسط [22] بررسی گردید. یافته‌های ایشان نشان می‌دهد تراکم بهینه مراکز توزیع به داده‌های ورودی به مدل مانند هزینه جریمه هر واحد محصول و هزینه حمل نقل مرتبط است. [23] یک شبکه زنجیره تامین دو سطحی را با در نظر گرفتن ریسک‌های عملیاتی و اختلال توسعه دادند. در مدل پیشنهادی، فروشگاه‌های خرده‌فروشی به دو گروه گره‌های عرضه و تقاضا تقسیم شدند که در آن گره‌های عرضه تسهیلات و اقام اورژانس همانند ژنراتورهای برق، سوخت‌های جایگزین که دیگر فروشگاه‌ها (گره‌های تقاضا) را در هنگام وقوع اختلال پوشش می‌دهند. در ابتدا یک مدل قطعی پیشنهاد گردید و سپس به مدل استوار بر مبنای سناریو توسعه داده شد. [24] یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی استوار-تصادفی برای طراحی زنجیره تامین بازگشت‌پذیر برای رویارویی با اختلالات عرضه، تقاضا و تسهیلات ارائه گردید. با در نظر گرفتن استراتژی مستحکم سازی تسهیلات، مدل پیشنهادی قادر خواهد بود با از کار افتادن کامل یک گره و یا کاهش ظرفیت آن به فعالیت زنجیره تامین ادامه دهد. [25] یک مدل زنجیره تامین چند مرحله‌ای با در نظر گرفتن شرایط عدم اطمینان در تقاضا و عرضه مورد کردند. مدل مذکور بر اساس تئوری قابلیت اطمینان و بهینه سازی استوار غیرخطی توسعه داده شد و سپس با استفاده از رگرسیون خطی-تقریبی حل گردید. وابستگی تقاضای مشتریان در طراحی یک شبکه زنجیره تامین توسط [26] بررسی گردید. در مدل ایشان استراتژی‌های

مستحکم سازی و تصمیمات منبع‌یابی جایگزین برای ریسک‌های عملیاتی و اختلال ارائه گردید که توسط یک مدل برنامه ریزی دو مرحله‌ای حل می‌گردد.

جدول 1 بیانگر برخی از پژوهش‌های اخیر است که پیرامون طراحی شبکه زنجیره تامین انجام گرفته است. هر یک از مدل‌های توسعه داده شده از منظر محدودیت‌های کلیدی، توابع هدف، گام قبل یا بعد از فاجعه، پارامترهای عدم اطمینان، استراتژی‌های بازگشت‌پذیری، رویکرد مدل‌سازی، و نوع طراحی یا بازطراحی شبکه زنجیره تامین بررسی شده‌اند. مقالات انتخاب شده از مرتبط‌ترین و پر استنادترین پژوهش‌ها در حوزه شبکه زنجیره تامین هستند. همچنین مشابهت و مشارکت پژوهش حاضر نسبت به پژوهش‌های پیشین نیز در این جدول نشان داده شده است.

جدول 1 ابعاد بررسی شده برای طراحی شبکه زنجیره تامین در پژوهش‌های پیشین و مشارکت پژوهش حاضر

شبکه زنجیره تامین	رویکرد مدل‌سازی		استراتژی‌های بازگشت‌پذیری		پارامترهای عدم اطمینان		گام فاجعه		تابع هدف		محدودیت‌های		مرجع													
											خطی	غیرخطی		خطی	غیرخطی											
	ارزش مورد انتظار	بهترین حالت	تصاویری	خطی	غیرخطی	چندهدفه	توزیل مستقیم	پوشش چندگانه	زنجیره احتمالی	مستحکم سازی	ظرفیت مازاد	انعطاف‌پذیری	عرضه	تقاضا	ظرفیت	موجودی	قبل	بعد	غیره	درآمد	پاسخگویی	هزینه	ظرفیت	بودجه	[27]	
																										[9]
																										[28]
																										[29]
																										[30]
																										[31]
																										[25]
																										[23]
																										[24]
																										[32]
																										[21]
																										[33]
																										[34]
																										پژوهش حاضر حاضر

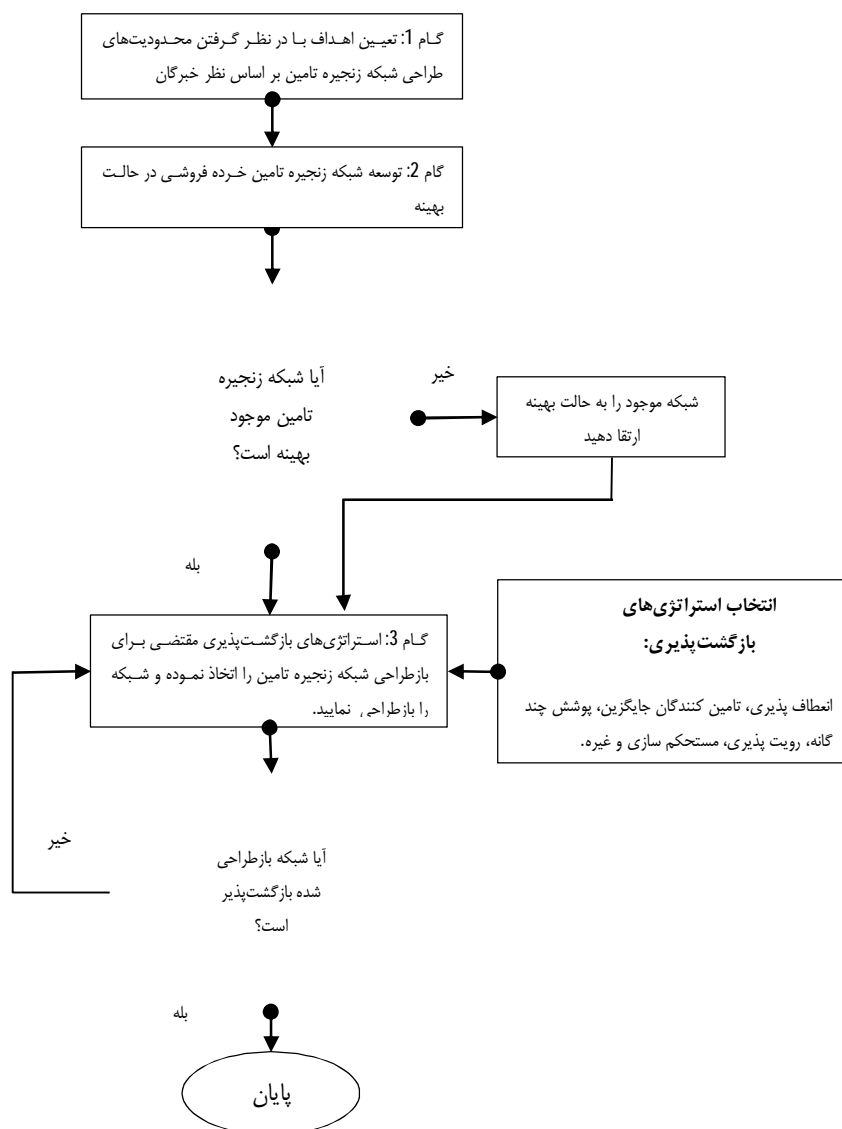
مشارکت پژوهش حاضر در ادبیات موضوع طراحی شبکه زنجیره تامین از چند بُعد قابل بررسی است. اولاً، علیرغم مدل‌های متعددی که برای طراحی شبکه

زنجیره تامین ارائه گردیده است، پژوهش‌های بسیار اندکی به ابعاد مختلف بازگشت‌پذیری در طراحی زنجیره تامین پرداخته‌اند. یکی از ویژگی‌های پژوهش حاضر بررسی قابلیت‌های پیش‌کنشی، واکنشی و کیفیت طراحی شبکه زنجیره تامین با ارائه انواع مختلف استراتژی‌های بازگشت‌پذیری است که موجب استحکام بیشتر کل زنجیره تامین در برابر اختلالات می‌گردد و هزینه کل را چنانچه سیستم با اختلال مواجه گردد، به شدت کاهش می‌دهد. بررسی قابلیت‌های چندگانه بازگشت‌پذیری رویکرد جامع‌تری برای رویارویی با هر گونه اختلال به زنجیره تامین اعطاء می‌نماید. ثانیاً، رویکرد پیشنهادی شرایط عدم‌اطمینان را در عرضه و تقاضا در نظر گرفته و هنگامی که بعضی از گره‌ها یا کمان‌ها بخشی یا همه ظرفیت یا موجودی خود را در شبکه از دست می‌دهند را بررسی می‌نماید. به بیان دیگر، با در نظر گرفتن اختلال کامل و یا جزئی در زنجیره بالا دستی و پایین دستی، پژوهش حاضر رویکرد واقع‌بینانه‌تری نسبت به مفهوم اختلال ارائه می‌دهد. ثالثاً، همانگونه که از جدول 1 مشخص است، مدل بسط داده شده در این پژوهش به لحاظ موارد بررسی شده در پژوهش‌های پیشین، در عین سادگی نسبت به مدل‌های قبلی جامع‌تر بوده و موارد بیشتری را پوشش می‌دهد. برای مثال، مدل حاضر ضمن بررسی گام قبل و بعد از فاجعه، توانایی طراحی و بازطراحی شبکه زنجیره تامین را نیز داراست. حال آنکه مدل‌های بسیار اندکی گام بعد از فاجعه و یا باز طراحی زنجیره تامین را مد نظر قرار داده‌اند.

3- تعریف مساله و مدلسازی

از آنجا که هدف پژوهش حاضر بازطراحی یک شبکه خرده‌فروشی بر اساس توانمندی‌های بازگشت‌پذیری است، اولین گام مصاحبه با متخصصین حوزه شبکه زنجیره تامین خرده‌فروشی است. برای جمع‌آوری داده و اطلاعات نیز از مصاحبه‌های نیم ساختار یافته برای مدلسازی تحلیلی استفاده شده است. از این روش تحقیق برای پژوهش حاضر «ترکیبی» با رویکرد مدلسازی تحلیلی و رویکرد تجربی کیفی می‌باشد. بنابراین روش تجربی کیفی بر اساس مصاحبه با خبرگان و

روش مدلسازی تحلیلی با استفاده از مدلسازی ریاضی و بهینه‌سازی تحت شرایط عدم قطعیت می‌باشد. شکل 1 گام‌های انجام پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل 1 فلوجارت انجام پژوهش

3-1- تعریف مسئله

در این بخش نحوه طراحی شبکه زنجیره تامین با در نظر گرفتن استراتژی‌های بازگشت‌پذیری چندگانه بر اساس نظر خبرگان تشریح خواهد شد. سپس مدل برنامه ریزی تصادفی پیشنهادی که بر مبنای تصمیمات قبل و بعد از اختلال می‌باشد، ارائه می‌گردد. یک شبکه زنجیره تامین خرده‌فروشی متشکل از چند تامین‌کننده، مراکز توزیع، و فروشگاه‌های خرده‌فروشی را که به مناطق مشتری متعددی در یک شهر خدمات ارائه می‌دهد را در نظر بگیرید. از آنجا که تامین‌کنندگان در شهرهای دیگر قرار دارند، مکان تامین و انبارهای آنها به طور مشترک به عنوان یک گره در شبکه در نظر گرفته می‌شود که این امر به لحاظ پیشگیری از بیان جزئیات غیرضروری در مدل است. موقعیت مناطق مشتریان مشخص و ثابت است اما گره‌های تامین‌کنندگان، مراکز توزیع و فروشگاه‌های خرده‌فروشی باید از میان گره‌های کاندید انتخاب گردد. از آنجا که مسئله مورد نظر از نوع بازطراحی زنجیره تامین می‌باشد، گره‌هایی که هم اکنون در مدل باز هستند می‌توانند باز باقی بمانند و یا بسته شوند. به طور کلی یک شبکه زنجیره تامین متشکل از مجموعه‌ای از گره‌ها و کمان‌هاست که هر گره دارای محدودیت ظرفیت برای تامین و یا نگهداری اقلام چندگانه است. تامین‌کنندگان این قابلیت را دارند که محصولات خود را به طور مستقیم به فروشگاه‌های خرده‌فروشی و یا به مراکز توزیع در شهر مورد نظر ارسال کنند و یا اینکه در انبارهای خود ذخیره نمایند. به طور مشابه، از مراکز توزیع می‌توان جریانی به تمام فروشگاه‌ها برقرار نمود. با توجه به محدودیت ظرفیت، در مدل منبع یابی چندگانه در نظر گرفته می‌شود. سیاست منبع یابی چندگانه در مدل می‌تواند موجب افزایش بازگشت‌پذیری در مدل گردد چرا که باعث کاهش آسیب‌پذیری و حساسیت گره‌ها می‌گردد. از آنجا که مناطق مشتری در یک منطقه جغرافیایی مشخص قرار دارند، برای مثال در سطح یک شهر، می‌توانند با فروشگاه‌های مختلف خدمت‌رسانی گردند. هدف بر آن است که به منظور افزایش فروش تا حد ممکن تقاضای مشتریان برآورده گردد.

ایده اصلی از بازطراحی شبکه زنجیره تامین خرده‌فروشی در مسئله حاضر افزایش سطح بازگشت‌پذیری است در حالیکه هزینه کل تا حد ممکن پایین نگه داشته

شود. اولین استراتژی پیشنهادی در شبکه مستحکم‌سازی تسهیلات¹ می‌باشد. مستحکم‌سازی تسهیلات یک قابلیت پیش کنشی می‌باشد. فرض بر این است که برای هر گره سطوح مختلفی از مستحکم سازی (برای مثال صفر درصد، بیست و پنج درصد، پنجاه درصد و یا صد در صد مستحکم سازی) در برابر اختلالات می‌توان در نظر گرفت [35]. هزینه انتخاب یکی از گره‌هایی که هم اکنون باز است شامل هزینه مستحکم سازی آن می‌شود. به عبارتی، هنگامی که به هزینه ثابت انتخاب یک گره اشاره می‌گردد، در واقع این هزینه شامل هزینه ثابت و هزینه مستحکم سازی برای گره‌های کاندید و هزینه مستحکم سازی برای گره‌هایی که هم اکنون باز هستند اشاره دارد. دومین استراتژی بازگشت‌پذیری، نگهداری موجودی احتیاطی در بعضی از گره‌ها در زنجیره تامین خرده‌فروشی می‌باشد [23]. سومین استراتژی مشابه استراتژی قبل، بکارگیری ظرفیت مازاد در گره‌ها می‌باشد. چهارمین استراتژی، بررسی تحویل مستقیم به فروشگاه² می‌باشد که سیاستی است که بسیاری از زنجیره‌های تامین خرده‌فروشی در دنیا از آن هم اکنون استفاده می‌نمایند. تحویل مستقیم به فروشگاه انعطاف‌پذیری مدل را افزایش داده و موجب بازگشت‌پذیری بیشتر مدل می‌گردد. یکی از نمونه‌های برجسته اخیر در استفاده از تحویل مستقیم به فروشگاه در طوفان هاروی³ در تگزاس می‌باشد که در آن فروشگاه‌های خرده‌فروشی HEB از تامین کنندگان خود خواستند تا بعضی از اقلام را مستقیماً به فروشگاه‌ها ارسال نمایند [23]. استراتژی تحویل مستقیم به فروشگاه به عنوان استراتژی واکنشی زنجیره تامین در نظر گرفته شده است. با استفاده از تحویل مستقیم به فروشگاه، گره‌هایی که با اختلال مواجه شده‌اند نمی‌توانند جریان کالا را در زنجیره تامین به تاخیر بیاندازند. پنجمین استراتژی برای افزایش بازگشت‌پذیری زنجیره تامین خرده‌فروشی، پوشش چندگانه برای گره‌هایی است که از گره‌هایی

1. Facility fortification
2. Direct to Store Delivery
3. Hurricane Harvey

دریافت کالا دارند که آن گره‌ها دارای حساسیت بالا هستند. این امر به خاطر این است که اگر گره‌هایی که با حساسیت بالا هستند از کار بیافتند ریسک اختلال در سرتاسر زنجیره منتشر نگردد [26]. قابل ذکر است از آنجا که زمان و مکان وقوع اختلال در زنجیره تقریباً غیر ممکن است برای تمامی گره‌ها در زنجیره تامین پوشش چندگانه می‌تواند صورت گیرد. این قابلیت بازگشت‌پذیری همسو با کیفیت طراحی زنجیره تامین است و ریسک اختلال را در زنجیره تامین با گره‌ها و کمان‌های حساس کاهش می‌دهد. کمترین تعداد گره‌های پشتیبان می‌تواند بر اساس اهمیت و تقاضای گره‌های بعدی تعیین شود.

3-2- مدل‌سازی مسئله

با توجه به ریسک‌های عملیاتی و اختلال، در این بخش یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای با در نظر گرفتن استراتژی‌های بازگشت‌پذیری ذکر شده، ارائه می‌گردد. مدل پیشنهادی بر اساس مجموعه‌ای از سناریوهای اختلال، می‌کوشد تا به طور همزمان هزینه‌های ثابت گام اول (پیش از اختلال) و هزینه‌های مورد انتظار در گام دوم (پس از اختلال) را کاهش دهد.

مفروضات مدل:

- مسئله از نوع زنجیره تامین چند سطحی با محصولات چندگانه می‌باشد.
- تحویل مستقیم به فروشگاه برای تامین کنندگان مقدور است.
- جریان بین گره‌های هم سطح (انتقال جانبی) وجود ندارد.
- هر یک از گره‌ها و یا کمان‌ها ممکن است در اثر اختلال، بخشی و یا به طور کامل ظرفیت خود را از دست بدهند.

مجموعه‌ها:

$$L = \{l \mid l=1,2,\dots,|L|\} \quad \text{مجموعه گره‌های تامین کنندگان,} \quad L$$

$$H = \{h \mid h=1,2,\dots,|H|\} \quad \text{مجموعه گره‌های مراکز توزیع,} \quad H$$

$$R = \{r \mid r=1,2,\dots,|R|\} \quad \text{مجموعه گره‌های فروشگاه‌های خرده‌فروشی,} \quad R$$

$K = \{k \mid k=1,2,\dots, K \}$	مجموعه گره‌های مناطق مشتری،	K
$P = \{p \mid p=1,2,\dots, P \}$	مجموعه کالاها،	P
$E = \{e \mid e=1,2,\dots, E \}$	مجموعه سطوح مستحکم سازی،	E
$S = \{s \mid s=1,2,\dots, S \}$	مجموعه سناریوهای یا اختلال،	S
$A = \{(i,j) \mid (i \in (l \cup h \cup r), j \in (h \cup r \cup k))\}$	مجموعه کمان‌های بین گره i و j ،	A

پارامترهای گام اول:

f_i	هزینه ثابت تاسیس مکان i
bud	محدودیت بودجه نگهداری موجودی در زنجیره تامین خرده‌فروشی
cap_i	ظرفیت گره i برای انبار کالاها
c_i	هزینه هر واحد محصول در گره i
α_{ij}	هزینه ثابت ایجاد مسیر بین گره i و j

متغیرهای تصمیم گام اول:

y_i	1: اگر گره i انتخاب گردید؛ 0: در غیر اینصورت
z_{ij}^p	1: اگر گره i برای پوشش گره j انتخاب گردید؛ 0: در غیر اینصورت
u_i	مقدار موجودی زنجیره خرده‌فروشی در گره i

گام 1. مکانیابی تسهیلات و تصمیمات موجودی

تصمیمات عمده در گام اول شامل: (1) بازطراحی زنجیره تامین (2) ظرفیت بهینه انبارها و سطوح موجودی آنها در زنجیره تامین خرده‌فروشی. تابع هدف در این گام شامل کمینه‌سازی هزینه‌های برپاسازی تسهیلات و نگهداری موجودی می‌باشد.

تابع هدف:

$$\text{Min } F: \sum_{i \in (L \cup H \cup R)} \sum_{e \in E} f_i^e y_i^e + \sum_{(i,j) \in A} \sum_{p \in P} \alpha_{ij} z_{ij}^p + \sum_{h \in H} \sum_{p \in P} c_h^p u_h^p \quad (1)$$

جزء اول تابع هدف نشان دهنده مجموع هزینه‌های ثابت برای تاسیس فروشگاه‌های خرده‌فروشی، مراکز توزیع و همکاری بلند مدت با تامین کنندگان است. جزء دوم نشان دهنده ایجاد مسیر بین دو گره می‌باشد. جزء سوم نشان دهنده هزینه موجودی کل برای زنجیره‌های خرده‌فروشی است.

$$u_h^p \leq cap_h^p \times \sum_{e \in E} y_h^e \quad (2)$$

$$\forall p \in P, h \in H, e \in E$$

محدودیت 2 ظرفیت انبارها برای نگهداری موجودی را نشان می‌دهد.

$$\sum_{h \in H} \sum_{p \in P} c_h^p u_h^p \leq bud \quad (3)$$

محدودیت‌های 3 محدودیت بودجه برای نگهداری موجودی در زنجیره تامین را نشان می‌دهد.

$$\sum_{r \in R} z_{rk}^p \geq n_k^p \quad \forall p \in P, k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in (L \cup H)} z_{ir}^p \geq n_r^p \quad \forall p \in P, r \in R \quad (5)$$

$$\sum_{l \in L} z_{lh}^p \geq n_h^p \quad \forall p \in P, h \in H \quad (6)$$

محدودیت 4 تا 6 تضمین می‌کند که هر گره z توسط حداقل چه تعداد گره i برای محصول p پوشش داده شود. این نوع محدودیت‌ها بر اساس پوشش چندگانه بوده که موجب افزایش بازگشت‌پذیری زنجیره از طریق استفاده از گره‌های مازاد می‌گردد.

$$z_{ij}^p \leq \sum_{e \in E} y_{i,j}^e \quad i \in (L \cup H \cup R), \quad (7)$$

$$j \in (H \cup R \cup K), p \in P$$

محدویت 7 نشان می‌دهد گره‌های پوششی یا پشتیبان باید از میان گره‌هایی باشند که خود هم اکنون به عنوان گره‌های باز انتخاب شده‌اند. از آنجا که بین گره i و j جریان وجود دارد، هر دو گره مذکور باید باز باشند.

$$\sum_{e \in E} y_i^e \leq 1 \quad (8)$$

$$\forall i \in (L \cup H \cup R)$$

محدویت 8 تضمین می‌کند اگر یک گره باز باشد، فقط یک سطح از مستحکم سازی برای آن باید انتخاب گردد.

$$y, z \in \{0,1\} \quad (9)$$

$$u \geq 0 \quad (10)$$

محدودیت‌های 9 و 10 به ترتیب بیانگر صفرو یک بودن و غیر منفی بودن متغیرهای تصمیم می‌باشد.

گام 2. برنامه‌ریزی برای توزیع کالاها

همانطور که پیش‌تر نیز اشاره شد، گره‌ها و کمان‌ها در شبکه ممکن است بصورت کلی یا بخشی از ظرفیت خود را بعد از فاجعه از دست بدهند. تصمیمات عمده‌ای که در گام دوم اتخاذ می‌گردد برابر است با: (1) جریان بهینه کالاها به فروشگاه‌های خرده‌فروشی؛ (2) تعیین مقدار موجودی استفاده نشده و (3) کمبود موجودی در فروشگاه‌ها. تابع هدف این گام شامل هزینه خرابی به تسهیلات یا گره‌ها، هزینه حمل و نقل، هزینه خرید و نگهداری موجودی، هزینه ظرفیت استفاده نشده فروشگاه‌های خرده‌فروشی، هزینه تقاضای برآورده نشده.

پارامترها و متغیرهای تصمیم در گام بعد از فاجعه

پارامترهای غیر قطعی

هزینه خرابی در گره i با سطح مستحکم سازی e در سناریوی s	f_i^{tes}
تقاضای مشتریان زنجیره خرده‌فروشی در منطقه k برای کالای p در سناریوی s	d_k^{ps}
حداکثر مقدار کالای p که می‌تواند در کمان (i, j) در سناریوی s حمل گردد	χ_{ij}^{ps}
ظرفیت استفاده نشده گره i برای کالای p با سطح مستحکم سازی e در سناریوی s	cap_i^{pes}

پارامترهای قطعی

حداکثر مقدار کالا p که در کمان (i, j) می‌تواند انتقال یابد	X_{ij}^p
هزینه حمل و نقل هر واحد کالای p در کمان (i, j)	tr_{ij}^p
هزینه نگهداری هر واحد کالای p در انبار زنجیره تامین خرده‌فروشی در گره i	a_i^p
هزینه عملیات اضافی بر روی هر واحد کالای p در گره i	b_i^p
هزینه جریمه هر واحد تقاضای برآورده نشده کالای p در منطقه مشتری k	pc_k^p
هزینه جریمه ظرفیت استفاده نشده هر واحد کالای p در فروشگاه خرده‌فروشی r	pc_r^p
ارزش اسقاط هر واحد کالای مصرف نشده p در گره i	δ_i^p
احتمال وقوع سناریوی s $\sum_{s \in S} \rho^s = 1$	ρ^s

متغیرهای تصمیم گام دوم

مقدار کالای p حمل شده در کمان (i, j) در سناریوی s	x_{ij}^{ps}
مقدار موجودی کالای p استفاده نشده در گره h در سناریوی s	$u_h'^{ps}$
مقدار کمبود کالای p در منطقه مشتری k در سناریوی s	\hat{v}_k^{ps}
ظرفیت استفاده نشده فروشگاه خرده‌فروشی r در سناریوی s	σ_r^{ps}

تابع هدف

$$\begin{aligned}
 \text{Min } F'(u, f', d, \chi, \text{cap}) = & \\
 & \sum_{s \in S} \rho^s \left\{ \sum_{i \in (L \cup H \cup R)} \sum_{e \in E} f_i^{res} y_i^e \right. \\
 & + \sum_{(i,j) \in A} \sum_{p \in P} tr_{ij}^p x_{ij}^{ps} + \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} pc_k^p v_k^{ps} \\
 & + \sum_{h \in H} \sum_{p \in P} a_h^p u_h^{ps} + \sum_{h \in H} \sum_{(i,j) \in A} \sum_{p \in P} b_h^p x_{ij}^{ps} \\
 & + \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} pc_r^p \sigma_r^{ps} + \sum_{j \in (H \cup R)} \sum_{(l,j) \in A} \sum_{p \in P} c_l^p x_{lj}^{ps} \\
 & \left. + \sum_{h \in H} \sum_{p \in P} (c_h^p - \delta_h^p) u_h^{ps} \right\}
 \end{aligned} \tag{11}$$

اولین و دومین جزء از گام دوم تابع هدف (11) بعد از مجموع احتمالات نشان دهنده هزینه خرابی تسهیلات و هزینه حمل و نقل در زنجیره تامین خرده‌فروشی است. سومین جزء مربوط به هزینه جریمه کمبود موجودی مورد تقاضا در فروشگاهها می‌باشد. چهارمین و پنجمین جزء مربوط به هزینه نگهداری موجودی و عملیات اضافی همانند بسته بندی می‌باشد. ششمین جزء بیانگر، هزینه ظرفیت استفاده نشده فروشگاههای خرده‌فروشی است. هفتمین جزء، بهای تمام شده اقلام در فروشگاه خرده‌فروشی است. جزء هشتم نشان دهنده هزینه کاهش ارزش اقلام استفاده نشده در زنجیره تامین خرده‌فروشی است.

محدودیت‌ها

$$\begin{aligned}
 \sum_{(r,k) \in A} x_{rk}^{ps} + v_k^{ps} & \geq d_k^{ps} \\
 \forall p \in P, k \in K, s \in S
 \end{aligned} \tag{12}$$

محدودیت‌های (12) بیان می‌دارد که مجموع کالاهای خریداری شده توسط مشتریان و تقاضای برآورده نشده باید بزرگتر یا مساوی تقاضای هر منطقه از مشتریان باشد.

$$\sum_{(i,r) \in A} x_{ir}^{ps} = \sum_{(r,k) \in A} x_{rk}^{ps} \quad \forall i \in (L \cup H), \quad (13)$$

$$r \in R, p \in P, s \in S$$

$$\sum_{(l,h) \in A} x_{lh}^{ps} + u_h^{ps} - u_h'^{ps} = \sum_{(h,r) \in A} x_{hr}^{ps} \quad \forall p \in P, \quad (14)$$

$$i, h \in H, e \in E, s \in S$$

محدودیت‌های (13) و (14) نشان دهنده برقراری جریان در زنجیره تامین خرده‌فروشی می‌باشد.

$$\sum_{(l,j) \in A} x_{lj}^{ps} \leq \sum_{e \in E} cap_l^{pes} y_i^e \quad (15)$$

$$\forall p \in P, l \in L, j \in (H \cup R), s \in S$$

$$\sum_{(h,r) \in A} x_{hr}^{ps} \leq \sum_{e \in E} cap_h^{pes} y_h^e \quad (16)$$

$$\forall p \in P, h \in H, r \in R, s \in S$$

$$\sum_{(r,k) \in A} x_{rk}^{ps} \leq \sum_{e \in E} cap_r^{pes} y_r^e \quad (17)$$

$$\forall p \in P, r \in R, k \in K, s \in S$$

$$\sum_{(i,r) \in A} x_{ir}^{ps} + \sigma_r^{ps} \leq \sum_{e \in E} cap_r^{pes} y_r^e \quad (18)$$

$$\forall p \in P, r \in R, s \in S$$

محدودیت‌های (15)-(18) نشان دهنده ظرفیت هر یک از گره‌ها می‌باشد.

$$x_{ij}^{ps} \leq z_{ij}^p X_{ij}^p \quad i \in (L \cup H \cup R), \quad (19)$$

$$j \in (H \cup R \cup K), p \in P, s \in S$$

محدودیت 19 بیان می‌دارد جریان فقط می‌تواند بین گره‌هایی که باز می‌باشند برقرار باشد که در آن $X_{ij}^p = \text{Min}\{cap_i^{pes}, cap_j^{pes}\}$ می‌باشد.

$$0 \leq x_{ij}^{ps} \leq \chi_{ij}^{ps} \quad \forall (i, j) \in A, \quad (20)$$

$p \in P, s \in S$

محدودیت 20 نشان می‌دهد که جریان در هر کمان در گام بعد از اختلال می‌تواند تا سطحی کاهش یابد.

$$\hat{u}_h^{ps}, v_k^{ps}, x_{ij}^{ps}, \sigma_r^{ps}, T_{ii}^{ps} \geq 0 \quad (21)$$

محدودیت 21 نشان دهنده غیر منفی بودن متغیرهای تصمیم می‌باشد.

مدل برنامه ریزی تصادفی دو مرحله‌ای:

مدل برنامه ریزی تصادفی دو مرحله‌ای مجموع هزینه‌های مرحله اول و دوم را برای زنجیره تامین خرده‌فروشی کمینه می‌نماید. از اینرو، مدل فشرده پیشنهادی رو می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$\text{Min } F + F' \quad (22)$$

s.t. 1-10, 12-21

4- حل مدل و نتایج

برای اعتبار سنجی مدل پیشنهادی، یک مثال عددی با نرم افزار GAMS و حل کننده CPLEX بر روی رایانه‌ای با حافظه‌ی 3GB و پردازشگر Intel core 2 Duo (2MB Cache, 2.6 GHz) حل شده است.

4-1- مثال عددی

به منظور حل مدل پیشنهادی، یک زنجیره تامین خرده‌فروشی در شهر تهران در نظر گرفته شده است. بدین منظور برای مناطق 22 گانه شهر تهران زنجیره‌های تامین خرده‌فروشی (برای مثال شهروند) طراحی گردید. مکان‌های فروشگاه‌های

شهروند به عنوان کاندیداهای مکان فروشگاه‌ها، چهار تامین‌کننده به ترتیب در شهرهای کرج، قم، سمنان و آمل و همچنین شش مرکز توزیع در غرب، جنوب غرب، جنوب، جنوب شرق، شرق و شمال شرق تهران بررسی شد. تا حد امکان سعی بر این بود که از داده‌های نزدیک به داده‌های واقعی در مدل استفاده گردد.

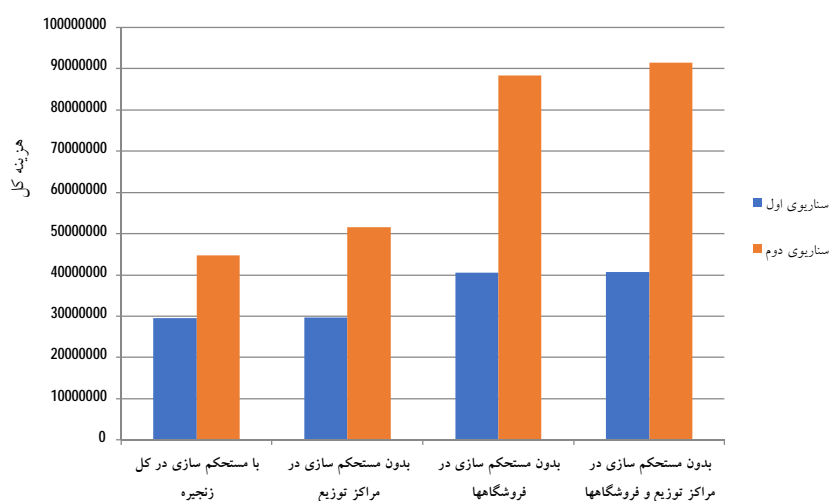
بر اساس نظر خبرگان، دو سناریوی محتمل از میانگین سناریوهای وقوع اختلال (برای مثال زلزله) در شهر تهران بین 6 تا 7 ریشتر و همچنین 7 تا 8 ریشتر با احتمال به ترتیب 7/ و 3/ و تقاضا برای مناطق مختلف مشتری در هر یک از سناریوها بررسی شد. همچنین هنگامی که در زنجیره تامین خرده‌فروشی، یکی از تامین‌کنندگان با اختلال مواجه می‌شود، بررسی شد. هنگامی که یک اختلال مانند زلزله رخ می‌دهد، فروشگاه‌های خرده‌فروشی و مراکز توزیع که در شهر واقع هستند در معرض اختلال می‌باشند.

4-2- تحلیل استراتژی‌های بازگشت‌پذیری

قابلیت‌های پیش‌کنشی. در هنگام وقوع یک اختلال عمده مانند زلزله، زنجیره تامین خرده‌فروشی ممکن است با هزینه‌های سرسام‌آوری مواجه شود که ناشی از کاهش ظرفیت زنجیره و تقاضای برآورده نشده می‌باشد. در بازطراحی شبکه پیشنهادی، همانطور که پیش‌تر بحث گردید، سه استراتژی پیش‌کنشی برای کاهش اثر اختلالات مورد بحث قرار گرفت. برای بررسی اثر هر استراتژی، اثر استراتژی‌های دیگر ثابت فرض شده‌اند. استراتژی‌های پیش‌کنشی شامل: مستحکم‌سازی تسهیلات، نگهداری موجودی اضافی، و در نظرگیری ظرفیت مازاد می‌باشد.

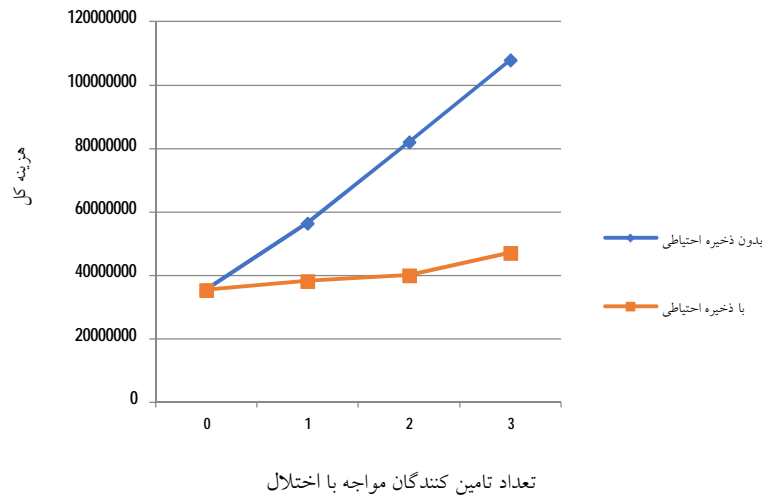
برای ارزیابی اثر مستحکم‌سازی تسهیلات در مدل پیشنهادی چهار سطح از مستحکم‌سازی همانند آنچه پیش‌تر ذکر شد در نظر گرفته شده است. انتظار بر این است تسهیلاتی که با مستحکم‌سازی پایین‌تر می‌باشند، در گام بعد از فاجعه متحمل هزینه خرابی بالاتر گردند و بالعکس. برای دو سناریوی محتمل زلزله، اثر مستحکم‌سازی تسهیلات در چهار مورد (هنگامی که در کل زنجیره مستحکم‌سازی صورت می‌گیرد، هنگامی که در مراکز توزیع مستحکم‌سازی صورت نمی‌گیرد، هنگامی که در

مستحکم سازی در فروشگاه‌های خرده‌فروشی صورت نمی‌پذیرد، و هنگامی که نه در مراکز توزیع و نه در فروشگاه‌های خرده‌فروشی مستحکم سازی صورت نمی‌پذیرد) در شکل 2 نشان داده شده است. بررسی امکان مستحکم سازی در طراحی زنجیره تامین پیشنهادی به طور چشمگیری مقادیر تابع هدف را کاهش می‌دهد که بیانگر برآورده شده تقاضا در گام بعد از اختلال و کاهش خسارت به زیرساخت‌ها می‌باشد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد بکارگیری استراتژی مستحکم سازی هنگامی که شدت اختلال یا فاجعه افزایش می‌یابد، با اهمیت‌تر می‌گردد.



شکل 2 اثر استراتژی مستحکم سازی در کاهش هزینه‌های زنجیره تامین

اثر نگهداری موجودی احتیاطی در شکل 3 نمایش داده شده است. تحلیل حساسیت مدل نشان می‌دهد هنگامی که تعداد تامین کنندگان مواجه شده با اختلال افزایش می‌یابد، هزینه کل زنجیره تامین نیز بطور چشمگیری افزایش می‌یابد، اما زمانی که در زنجیره موجودی اضافی به اندازه کافی وجود داشته باشد، هزینه وارد شده به سیستم بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.



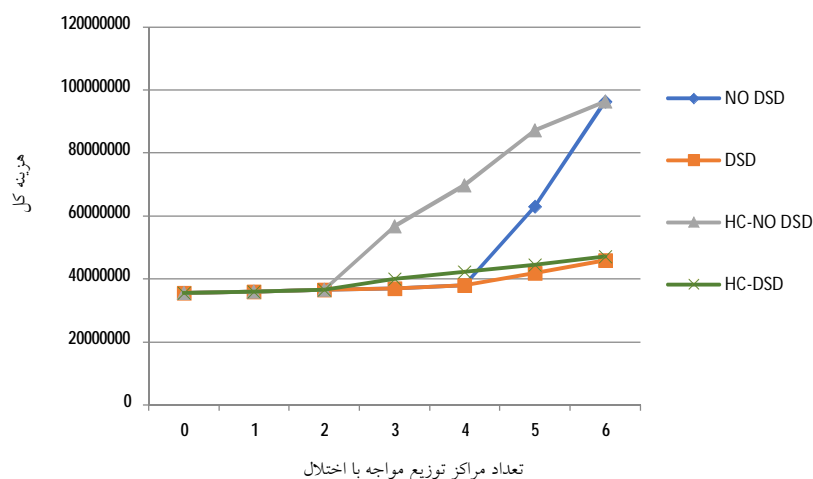
شکل 3 نقش ذخیره احتیاطی با در نظر گرفتن اختلال در عرضه

همچنین اثر بکارگیری ظرفیت مازاد که از مصادیق افزونگی برای افزایش بازگشت‌پذیری است در شکل 4 نشان داده شده است. برای نشان دادن اثر ظرفیت مازاد در مدل، در دو حالت بررسی شد. هنگامی که مراکز توزیع با نیمی از ظرفیت⁴ عادی خود در حال فعالیت هستند و در سیستم تحویل مستقیم به فروشگاه مجاز نیست و حالتی که تحویل مستقیم به فروشگاه مجاز می‌باشد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد در هنگام بروز اختلال استفاده از ظرفیت مازاد نه تنها هزینه‌های سیستم را به شدت کاهش می‌دهد، بلکه نسبت به استراتژی تحویل مستقیم به فروشگاه نیز برتری دارد.

قابلیت واکنشی. همانطور که پیش‌تر نیز ذکر شد، استفاده از استراتژی تحویل مستقیم به فروشگاه در گام بعد از وقوع اختلال مورد استفاده قرار گرفته است. این استراتژی زنجیره را توانمند می‌سازد ضمن اینکه بتواند خرابی‌ها را بازسازی کند،

4. Half Capacity

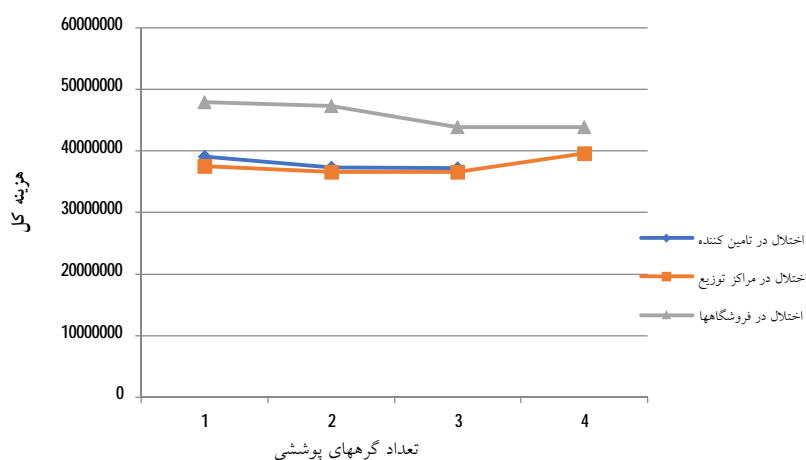
نیاز مشتریان را نیز بعد از وقوع اختلال برآورده سازد. شکل 4 به مقایسه وجود و عدم وجود تحویل مستقیم به فروشگاه در گام بعد از اختلال اشاره دارد.



شکل 4 اثر تحویل مستقیم به فروشگاه و ظرفیت مازاد هنگامی که مراکز توزیع با اختلال مواجه می‌گردند

کیفیت طراحی. همانطور که در بخش 3 نیز ذکر شد، پوشش چندگانه به عنوان استراتژی بازگشت‌پذیری که کیفیت شبکه را تحت تاثیر قرار می‌دهد بررسی شده است. پوشش چندگانه ممکن است گره‌ها و کمان‌های بیشتر را به شبکه تحمیل کند اما موجب می‌گردد که تراکم، پیچیدگی و حساسیت گره‌ها در شبکه کاهش یابد. به منظور بررسی اثر بکارگیری پوشش چندگانه در مدل، هر سطح از زنجیره تامین با تعداد مختلفی از گره‌های پشتیبان یا پوششی بررسی شد و هزینه کل شبکه تحلیل گردید. اثر گره‌های پوششی بر مناطق مشتریان هنگامی که بر اثر وقوع یک فاجعه (برای مثال زلزله) تعدادی از فروشگاه‌ها بسته می‌گردند (برای مثال فروشگاه‌های شماره 10، 11، 12، 16 و 17) و یا هنگامی که یکی از مراکز توزیع در اثر اختلال از شبکه خارج می‌گردد و همچنین هنگامی که یکی از تامین کنندگان قادر به تامین کالا نیست

در شکل 5 نشان داده شده است. برای پوشش مناطق مشتری پوشش دوگانه بهتر از تکی و همچنین پوشش سه گانه بهترین حالت است. بهترین حالت پوشش برای فروشگاهها پوشش دوگانه بوده و هنگامی که یکی از تامین کنندگان با اختلال مواجه می‌گردد پوشش سه گانه می‌باشد.



شکل 5 اثر تعداد گره‌های پوششی در هر سطح با در نظر گرفتن اختلال در تسهیلات

در میان استراتژی‌های به کار گرفته شده برای مقابله با اختلالات زنجیره تامین، ذخیره احتیاطی با کاهش هزینه کل به 44٪، تحویل مستقیم به فروشگاه و ظرفیت مازاد با 48٪، مستحکم سازی با 49٪ و پوشش چندگانه با 91٪ هزینه کل در مقایسه با زمانی که استراتژی بازگشت‌پذیری به کار گرفته نشود، بیشترین کارایی را داشته‌اند.

همانطور که در بخش تحلیل استراتژیهای بازگشت‌پذیری نیز تشریح شد، برای بررسی اثر هر استراتژی، اثر استراتژی‌های دیگر ثابت فرض شده‌اند. این عمل منجر گردید تا مدل برای 58 حالت با اعمال تغییرات برای هر استراتژی حل گردد تا به طور خاص رفتار مدل در اثر بکارگیری استراتژی مربوطه مشخص شود (شکل‌های 2 تا

5). از آنجا که جواب‌های به دست آمده از حل مدل مطابق با عکس العمل مورد انتظار از تغییرات برای تمامی حالات می‌باشد، می‌توان استدلال نمود که مدل از اعتبار کافی برخوردار است. برای مثال، با افزایش تعداد تسهیلاتی که استراتژی مستحکم‌سازی برای آنها پیاده شده است، به طور چشمگیری هزینه ناشی از اختلال در سطح زنجیره کاهش می‌یابد. این رفتار منطقی برای بکارگیری هر یک از استراتژی‌های دیگر نیز مشهود است.

5- نتیجه گیری و پیشنهادها

علیرغم افزایش اختلالات در زنجیره‌های تامین و انتشار مقالات بسیار در این حوزه برای ارائه راهکارهای مؤثر، پژوهش‌های بسیار اندکی به طور جامع، بازگشت‌پذیری زنجیره تامین را بررسی کرده و اغلب همانگونه که در ادبیات بحث نشان داده شد به یک یا دو استراتژی بازگشت‌پذیری بسنده نموده‌اند. حال آنکه مدل‌هایی که بتوانند تمام ابعاد بازگشت‌پذیری زنجیره تامین را پوشش دهند، بسیار لازم و ضروری هستند.

در پژوهش حاضر، مدلی برای رویارویی با اختلالات در یک زنجیره تامین خرده‌فروشی در برابر ریسک‌های عملیاتی و اختلال با در نظر گرفتن استراتژی‌های بازگشت‌پذیری ارائه گردیده است. مدل مذکور تمامی تصمیمات مربوط به مکانیابی تسهیلات و سطوح مستحکم‌سازی آنها، تصمیمات مربوط به موجودی و ظرفیت هر یک از گره‌ها، و همچنین جریان بین گره‌ها در سطوح مختلف زنجیره می‌پردازد که در برگزیده تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی در سطح زنجیره می‌باشد.

استراتژی‌های بازگشت‌پذیری شامل مستحکم‌سازی تسهیلات، ذخیره احتیاطی موجودی، ظرفیت مازاد تسهیلات، تحویل مستقیم به فروشگاه و پوشش چندگانه گره‌ها می‌باشد که ابعاد مختلف توانمندی‌های بازگشت‌پذیری را اعم از پیش‌کنشی، واکنشی و کیفیت طراحی را در بر می‌گیرد. مدل ارائه شده هر دو گام قبل و بعد از اختلال را پوشش می‌دهد که با استفاده از برنامه ریزی تصادفی دو مرحله‌ای مدلسازی گردیده است. نتایج مدل نشان می‌دهد در نظر گرفتن هر یک از استراتژی‌های بازگشت‌پذیری هزینه‌های زنجیره را تا حد قابل توجهی کاهش می‌دهد. همچنین به

ترتیب استراتژی‌های پوشش چندگانه، مستحکم سازی، تحویل مستقیم به فروشگاه، ظرفیت مازاد و ذخیره احتیاطی مؤثرترین استراتژی‌های بکار گرفته می‌باشند. حال آنکه مدل به انتخاب بهینه از بین استراتژی‌های موجود می‌پردازد.

این پژوهش نیز به مانند پژوهش‌های دیگر دارای محدودیت‌هایی می‌باشد. بسیاری از داده‌های مورد استفاده در این پژوهش همانند تقاضا برای محصولات و یا ظرفیت تسهیلات به صورت تخمینی است که شرکت مورد نظر (شرکت خدمات کالای شهروند) از ارائه داده‌های واقعی امتناع ورزید. بدیهی است داده‌های واقعی نتایج واقع بینانه‌تری ارائه می‌دهد.

به منظور توسعه مدل ارائه شده در این پژوهش مواردی برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد. با توجه به مدل ارائه شده، پیشنهاد می‌گردد یک روش تولید سناریو طراحی گردد و نتایج آن که مبتنی بر سناریوهای بیشتری است با نتایج پژوهش حاضر مقایسه گردد تا اثر در نظر گرفتن افزایش سناریوهای بیشتر بهتر درک گردد. همچنین از آنجا که ریسک‌های اختلال با عدم اطمینان عمیق همراه می‌باشند، انتظار می‌رود ترکیب برنامه ریزی استوار با برنامه‌ریزی تصادفی نتایج معتبرتری ارائه دهد که برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد.

6- منابع

- [1] Knemeyer A., Zinn M. W., Eroglu C. "Proactive planning for catastrophic events in supply chains." *Journal of operations management*, 27, no. 2 (2009): 141-153.
- [2] Craighead C. W., Blackhurst J., Rungtusanatham M. J., Handfield, R. B. "The severity of supply chain disruptions: design characteristics and mitigation capabilities." *Decision Sciences*, 38, no. 1 (2007): 131-156.
- [3] Hendricks K., Singhal V. R. "The effect of supply chain disruptions on long-term shareholder value, profitability, and share price volatility." *Supply Chain Magazine*, (2005).
- [4] Narasimhan R., Talluri S. "Perspectives on risk management in supply chains." (2009): 114-118.

- [5] Wright J. "Taking a broader view of supply chain resilience." *Supply Chain Management Review*, 17, no. 2 (2013): 26-31.
- [6] Chopra S., Sodhi M. M. "Reducing the risk of supply chain disruptions." *MIT Sloan Management Review*, 55, no. 3 (2014): 72-80.
- [7] Jüttner U., Maklan S. "Supply chain resilience in the global financial crisis: an empirical study." *Supply Chain Management: An International Journal*, 16, no. 4 (2011): 246-259.
- [8] Ebrahimi M., Safari H., Sadeghi Moghadam M. R. "A Mathematical Model for Power Generation Expansion Planning with Considering Distributed Generation Units and Decreasing Carbon Dioxide," *Industrial Management Journal*, vol. 9, no. 4, (2017): 563–586,.
- [9] Azaron A., Brown K. N., Tarim S. A., Modarres M. "A multi-objective stochastic programming approach for supply chain design considering risk." *International Journal of Production Economics*, 116, no. 1 (2008): 129-138.
- [10] Chowdhury M. M. H., Quaddus M. "Supply chain resilience: Conceptualization and scale development using dynamic capability theory." *International Journal of Production Economics* 188 (2017): 185-204.
- [11] Kamalahmadi M., Mellat Parast M. "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 (2016): 116-133.
- [12] Ribeiro J. P., Barbosa-Povoa A. "Supply Chain Resilience: Definitions and quantitative modelling approaches–A literature review." *Computers & Industrial Engineering*, 115 (2018): 109-122.
- [13] Rahimian M. M. Rajabzadeh Ghatari A. "Measuring Supply Chain Resilience using Complex Adaptive Systems approach; Case Study: Iranian Pharmaceutical Industry," *Modern Researches in Decision Making*, vol. 2, no. 2, (2017): 155–195.
- [14] Pettit T. J., Croxton K. L., Fiksel, J. "Ensuring supply chain resilience:

- development and implementation of an assessment tool" *Journal of business logistics*, 34, no. 1 (2013): 46-76.
- [15] Fakoor Sagihe A., Olfat L., Feizi K., Amiri M. 'A model of Supply chain resilience for competitiveness in Iranian automotive companies', *Journal of Production and Operations Management*, 5(1), (2014): 143-164.
- [16] Rice, J. B., & Caniato, F. "Building a secure and resilient supply network." *Supply Chain Management Review*, V. 7, NO. 5 (SEPT./OCT. 2003), P. 22-30: ILL(2003).
- [17] Sheffi Y., & Rice Jr J. B. "A supply chain view of the resilient enterprise." *MIT Sloan management review*, 47, no. 1 (2005): 41.
- [18] Sahebjamnia N., Torabi S. A., Mansouri S. A. "Integrated business continuity and disaster recovery planning: Towards organizational resilience." *European Journal of Operational Research*, 242, no. 1 (2015): 261-273.
- [19] Ponomarov S. Y., Holcomb M. C. "Understanding the concept of supply chain resilience." *The international journal of logistics management*, 20, no. 1 (2009): 124-143.
- [20] Kim Y., Chen Y. S., Linderman K. "Supply network disruption and resilience: A network structural perspective." *Journal of operations Management*, 33 (2015): 43-59.
- [21] Rezapour S., Zanjirani Farahani R, Pourakbar M. "Resilient supply chain network design under competition: a case study." *European Journal of Operational Research*, 259, no. 3 (2017): 1017-1035.
- [22] Lim M. K., Mak H. Y., Shen Z. J. M. "Agility and proximity considerations in supply chain design." *Management Science*, 63, no. 4 (2016): 1026-1041.
- [23] Sadghiani N. S., Torabi S. A., Sahebjamnia N. "Retail supply chain network design under operational and disruption risks." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 75 (2015): 95-114.
- [24] Jabbarzadeh A., Fahimnia B., Sheu J. B., Moghadam H. S. "Designing a supply chain resilient to major disruptions and supply/demand interruptions." *Transportation Research Part B: Methodological*, 94 (2016):

121-149.

- [25] Baghalian A., Rezapour S., Farahani R. Z. "Robust supply chain network design with service level against disruptions and demand uncertainties: A real-life case." *European Journal of Operational Research*, 227, no. 1 (2013): 199-215.
- [26] Fattahi M., Govindan K., Keyvanshokoo E. "Responsive and resilient supply chain network design under operational and disruption risks with delivery lead-time sensitive customers." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 101 (2017): 176-200.
- [27] Snyder L. V., Daskin, M. S. "Reliability models for facility location: the expected failure cost case." *Transportation Science*, 39, no. 3 (2005): 400-416.
- [28] Schmitt A. J., Singh M. "A quantitative analysis of disruption risk in a multi-echelon supply chain." *International Journal of Production Economics*, 139, no. 1 (2012): 22-32.
- [29] Liberatore F., Scaparra M. P., Daskin M. S. "Hedging against disruptions with ripple effects in location analysis." *Omega*, 40, no. 1 (2012): 21-30.
- [30] Losada C., Scaparra M. P., O'Hanley J. R. "Optimizing system resilience: a facility protection model with recovery time." *European Journal of Operational Research*, 217, no. 3 (2012): 519-530.
- [31] Lim M. K., Bassamboo A., Chopra S., Daskin M. S. "Facility location decisions with random disruptions and imperfect estimation." *Manufacturing & Service Operations Management*, 15, no. 2 (2013): 239-249.
- [32] Hasani A., Khosrojerdi A. "Robust global supply chain network design under disruption and uncertainty considering resilience strategies: A parallel memetic algorithm for a real-life case study." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 87 (2016): 20-52.
- [33] Govindan K., Fattahi M., Keyvanshokoo E. "Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions." *European Journal of Operational Research*, 263, no. 1 (2017): 108-141.

- [34] Lücker F., Seifert R. W. "Building up resilience in a pharmaceutical supply chain through inventory, dual sourcing and agility capacity." *Omega*, 73 (2017): 114-124.
- [35] Cutter, C. "The inside story of what it took to keep a Texas grocery chain running in the chaos of Hurricane Harvey | Chip Cutter | Pulse | LinkedIn," 2017. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/inside-story-what-took-keep-texas-grocery-chain-running-chip-cutter>. [Accessed: 14-Sep-2017].