فصلنامه رویکردهای پژوهشی نوین در
مدیریت و حسابداری
سال نهم، شماره ۹۹، زمستان ۱۴۰۴، ۶۸۴-۶۵۹

Journal of New Research Approaches
in Management and Accounting
ISSN: 2588-4573
http://www.majournal.ir

چارچوبی یکپارچه برای مدیریت تاب‌آوری زنجیره تامین در صنایع غذایی فسادپذیر

مختار حیدری [۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۱ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۱۱/۲۸

چکیده

هدف از این مطالعه مروری، ارائه چارچوبی یکپارچه و مفهومی برای تبیین و تحلیل ابعاد گوناگون تاب‌آوری زنجیره تامین در صنایع تولید و توزیع محصولات غذایی فسادپذیر (نظیر لبنیات، پروتئین و محصولات باغی) است. پیچیدگی ذاتی این زنجیره‌ها، ناشی از طول عمر محدود محصول و حساسیت به شرایط محیطی (زنجیره سرد)، آن‌ها را در برابر اختلالات برون‌زا و درون‌زا به‌شدت آسیب‌پذیر ساخته است. در حالی که پژوهش‌های پیشین عمدتاً بر کارایی عملیاتی یا مدیریت موجودی متمرکز بوده‌اند، شکاف قابل‌توجهی در ادبیات نظری پیرامون تلفیق مفهوم تاب‌آوری با ویژگی‌های منحصربه‌فرد کالاهای فسادپذیر وجود دارد. این مقاله با اتخاذ روش مرور نظام‌مند و تحلیل محتوای کیفی، به واکاوی ۱۸۷ مقاله منتشرشده در پایگاه‌های علمی معتبر در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ پرداخته است. یافته‌های پژوهش در قالب یک چارچوب مفهومی چهارلایه شامل: ۱) پیش‌نیازهای زیرساختی (رقومی‌سازی و ردیابی)، ۲) قابلیت‌های تاب‌آوری (انعطاف‌پذیری تأمین و افزونگی ظرفیت سرد)، ۳) راهبردهای واکنشی (بازطراحی مسیر لجستیک و مدیریت ضایعات) و ۴) پیامدهای پایداری (کاهش ضایعات و امنیت غذایی) سنتز و طبقه‌بندی شده‌اند. نتایج این مرور نشان می‌دهد که تاب‌آوری در صنایع فسادپذیر نه صرفاً یک واکنش لجستیکی، بلکه یک قابلیت پویای سازمانی است که مستلزم همراستایی فناوری‌های نوین ردیابی با سیاست‌های پیش‌گیرانه خرید و توزیع می‌باشد. مهم‌ترین خلأ شناسایی‌شده، فقدان معیارهای استاندارد برای سنجش سطح تاب‌آوری کیفی (توانایی حفظ کیفیت محصول در هنگام اختلال) است. این مقاله با ارائه یک دستورکار پژوهشی برای آینده و تأکید بر ضرورت گذار از تفکر هزینه‌محور به تفکر تاب‌آوری‌محور در مدیریت تولید و توزیع، به سیاست‌گذاران و مدیران صنایع غذایی یاری می‌رساند تا زنجیره تأمین خود را در برابر بحران‌های آتی مصون‌سازی نمایند.

واژگان کلیدی

تاب‌آوری زنجیره تامین، محصولات غذایی فسادپذیر، مدیریت زنجیره سرد، پایداری

۱. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

مقدمه

زنجیره‌های تأمین مواد غذایی در دهه اخیر با چالش‌هایی بی‌سابقه مواجه شده‌اند که ماهیت شکننده و به‌هم‌پیوسته نظام‌های تولید و توزیع جهانی را بیش از پیش آشکار ساخته است. همه‌گیری ویروس کرونا (کووید-۱۹) به‌عنوان یک شوک برون‌زاد با ابعاد جهانی، نه‌تنها الگوهای تقاضای مصرف‌کنندگان را به‌طور ناگهانی دگرگون ساخت، بلکه اختلالات گسترده‌ای در دسترسی به نیروی کار، حمل‌ونقل بین‌المللی و تأمین نهاده‌های اولیه کشاورزی ایجاد نمود (Hobbs, 2020). متعاقب آن، تنش‌های ژئوپلیتیک نظیر مناقشه روسیه و اوکراین که دو قطب اصلی تأمین غلات و روغن‌های خوراکی جهان محسوب می‌شوند، شکنندگی معادله امنیت غذایی را در کشورهای واردکننده به‌وضوح نمایان ساخت (Jagtap et al., 2022). در کنار این بحران‌های انسان‌ساخت، پدیده‌های اقلیمی نظیر امواج گرمای بی‌سابقه، سیل‌های ویرانگر و خشکسالی‌های مستمر، فشار مضاعفی بر زیرساخت‌های حیاتی زنجیره سرد (Cold Chain Infrastructure) وارد آورده و احتمال وقوع اختلالات آبشاری در شبکه توزیع مواد غذایی را به‌طور معناداری افزایش داده‌اند (FAO, 2021). در چنین بستر پرتلاطمی، مفهوم تاب‌آوری زنجیره تأمین (Supply Chain Resilience) از یک مزیت رقابتی اختیاری فراتر رفته و به یک ضرورت راهبردی برای بقای بنگاه‌های اقتصادی و تضمین امنیت غذایی جوامع بدل گردیده است.(Christopher & Peck, 2004; Ponomarov & Holcomb, 2009)

در میان بخش‌های گوناگون صنعت غذا، زنجیره تأمین محصولات فسادپذیر شامل اقلامی نظیر لبنیات تازه، گوشت قرمز و سفید، میوه‌جات و سبزیجات برگی، به‌دلیل محدودیت ذاتی طول عمر قفسه‌ای (Shelf Life) و حساسیت شدید به نوسانات دما و رطوبت، آسیب‌پذیرترین حلقه در برابر اختلالات پیش‌بینی‌نشده به‌شمار می‌رود (Blackburn & Scudder, 2009). برخلاف کالاهای بادوام که امکان انبارکردن استراتژیک آن‌ها برای ماه‌ها وجود دارد، محصولات فسادپذیر تابع قوانین سخت‌گیرانه اضمحلال کیفیت (Quality Deterioration) هستند؛ به‌گونه‌ای که هرگونه وقفه در حمل‌ونقل، قطعی برق سردخانه‌ها یا انسداد مسیرهای توزیع، منجر به نابودی فیزیکی کالا و تحمیل ضایعات جبران‌ناپذیر اقتصادی و زیست‌محیطی می‌گردد.(Akkerman et al., 2010) بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، سالانه حدود یک‌سوم از کل مواد غذایی تولیدشده در سطح جهان (معادل تقریبی ۱٫۳ میلیارد تن) پیش از رسیدن به سفره مصرف‌کننده به ضایعات تبدیل می‌شود که بخش عمده‌ای از آن در کشورهای درحال‌توسعه، ناشی از نارسایی‌های زیرساختی زنجیره سرد و مدیریت غیرتاب‌آور توزیع است (FAO, 2019). این حجم عظیم از اتلاف منابع، در حالی رخ می‌دهد که بر اساس برآوردهای برنامه جهانی غذا، نزدیک به ۸۲۸ میلیون نفر در سراسر جهان از ناامنی غذایی حاد رنج می‌برند (WFP, 2023). این پارادوکس تلخ، اهمیت نظری و عملی پرداختن به تاب‌آوری اختصاصی زنجیره تأمین مواد غذایی فسادپذیر را دوچندان می‌کند.

بیان مسئله و ضرورت پژوهش

ادبیات غنی مدیریت زنجیره تأمین در سه دهه اخیر شاهد تحول مفاهیم از تمرکز صرف بر کارایی هزینه‌ای (Cost Efficiency) و اصول تولید ناب (Lean Production) به سوی پذیرش ضرورت افزونگی راهبردی (Strategic Redundancy) و انعطاف‌پذیری (Flexibility) در مواجهه با اختلالات بوده است (Ivanov & Dolgui, 2020). با این حال، مرور انتقادی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که بخش قابل‌توجهی از چارچوب‌های نظری تاب‌آوری، بر مبنای ویژگی‌های صنایع تولید گسسته (Discrete Manufacturing) مانند خودروسازی یا الکترونیک طراحی و آزمون

شده‌اند .(Tukamuhabwa et al., 2015) در این صنایع، توقف خط تولید به‌دلیل کمبود قطعه، اگرچه پرهزینه است، اما به نابودی کامل دارایی فیزیکی (قطعه (منجر نمی‌شود و می‌توان تولید را با تأخیر از سر گرفت. این در حالی است که در زنجیره تأمین شیر تازه یا گوشت مرغ، زمان به‌مثابه سمّی مهلک برای محصول عمل می‌کند و هر دقیقه تأخیر در فرآوری یا توزیع، ارزش اقتصادی محصول را به‌صورت نمایی کاهش داده و نهایتاً آن را به پسماندی غیرقابل‌مصرف و آلاینده محیط‌زیست تبدیل می‌کند.(Rong et al., 2011)

شکاف نظری اصلی که محرک انجام این پژوهش مروری است، فقدان یک چارچوب تحلیلی یکپارچه برای فهم، ارزیابی و تقویت تاب‌آوری ویژه محصولات فسادپذیر می‌باشد. مرور اولیه مطالعات موجود نشان‌دهنده پراکندگی و جزیره‌ای بودن دانش در این حوزه است: گروهی از پژوهش‌ها صرفاً بر مدیریت موجودی محصولات فسادشدنی تحت تقاضای تصادفی متمرکز شده‌اند (Nahmias, 2011) ، گروهی دیگر به بهینه‌سازی مسیر حمل‌ونقل در زنجیره سرد با هدف کاهش مصرف انرژی پرداخته‌اند(Wang et al., 2018) و برخی نیز تأثیر فناوری‌های ردیابی (Track & Trace) بر کاهش ضایعات را بررسی کرده‌اند .(Ben-Daya et al., 2019) با این حال، کمتر پژوهشی به‌طور جامع به این پرسش بنیادین پاسخ داده است که چگونه می‌توان قابلیت‌های تاب‌آوری (پیش‌گیرانه، واکنشی و بازیابنده) را متناسب با محدودیت‌های فیزیکی-شیمیایی محصولات فسادپذیر بازتعریف و طراحی نمود؟.(Behzadi et al., 2018) علاوه بر این، در حوزه سیاست‌گذاری عمومی و مدیریت تولید در ایران، عمده راهکارهای ارائه‌شده برای مقابله با بحران‌هایی نظیر قطعی برق سردخانه‌ها در تابستان یا نوسانات ارزی واردات نهاده‌های دامی، واکنشی، مقطعی و فاقد پشتوانه نظری منسجم بوده‌اند (پورابراهیمی و همکاران، ۱۴۰۰). این پژوهش درصدد است با سنتز نظام‌مند ادبیات جهانی و دسته‌بندی یافته‌های پراکنده، خلأ مذکور را پر نموده و چارچوبی مفهومی برای درک پویایی‌های تاب‌آوری در صنایع غذایی فسادپذیر ارائه دهد.

اهداف و پرسش‌های پژوهش

با عنایت به شکاف نظری تشریح‌شده، هدف غایی این مقاله مروری، تدوین یک چارچوب مفهومی یکپارچه برای مدیریت تاب‌آوری زنجیره تأمین محصولات غذایی فسادپذیر است. برای نیل به این هدف کلان، اهداف فرعی زیر دنبال می‌شوند:

۱. شناسایی و تحلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد زنجیره تأمین محصولات فسادپذیر که آن را از منظر تاب‌آوری از سایر صنایع متمایز می‌سازد.
۲. مرور نظام‌مند و سنتز ادبیات پراکنده پیرامون راهبردها، توانمندسازها و موانع تاب‌آوری در بستر صنایع غذایی.
۳. ارائه یک گونه‌شناسی (Typology) از اختلالات محتمل در زنجیره تأمین محصولات فسادپذیر و تحلیل اثرات آبشاری آن‌ها بر کیفیت و کمیت محصول نهایی.
۴. استخراج شاخص‌ها و معیارهای پیشنهادی برای سنجش سطح تاب‌آوری در این صنایع با تأکید بر بُعد کیفیت و زمان باقی‌مانده تا فساد.

بر این اساس، پرسش‌های محوری که این مقاله در پی پاسخگویی به آن‌هاست، به شرح زیر تدوین گردیده‌اند:

- پرسش اصلی: عناصر و ابعاد تشکیل‌دهنده یک چارچوب مفهومی جامع برای مدیریت تاب‌آوری زنجیره تأمین محصولات غذایی فسادپذیر کدامند و چگونه با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند؟

- پرسش فرعی ۱: ویژگی‌های ذاتی «فسادپذیری» چگونه راهبردهای کلاسیک تاب‌آوری (نظیر افزونگی موجودی یا انعطاف‌پذیری تأمین) را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد و نیازمند چه بازتعریفی است؟
- پرسش فرعی ۲: فناوری‌های نوظهور در حوزه رقومی‌سازی و اینترنت اشیاء چه نقشی در تقویت توانایی‌های پیش‌آگاهی (Proactive) و واکنش سریع (Responsive) در زنجیره تأمین محصولات فسادپذیر ایفا می‌کنند؟

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از منظر هدف، بنیادی-کاربردی و از منظر روش گردآوری داده‌ها، مروری-تحلیلی (Analytical Review) است. رویکرد اتخاذشده، مرور نظام‌مند ادبیات (Systematic Literature Review) با پیروی از دستورالعمل‌های استاندارد PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) می‌باشد (Page et al., 2021). به‌منظور اطمینان از جامعیت و دقت یافته‌ها، جستجوی مقالات در پایگاه‌های علمی معتبر بین‌المللی شامل Scopus، Web of Science و Google Scholar و همچنین پایگاه‌های فارسی زبان نظیر پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) و بانک نشریات کشور (Magiran) با استفاده از کلیدواژه‌های از پیش تعیین‌شده و ترکیبی (نظیر: "Supply Chain Resilience"، "Perishable Food"، "Cold Chain Management"، "Food Waste"، "Disruption Management") در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ انجام پذیرفته است. پس از غربالگری اولیه بر اساس معیارهای ورود و خروج، مقالات منتخب با استفاده از تکنیک تحلیل محتوای کیفی جهت‌دار (Directed Qualitative Content Analysis) و با بهره‌گیری از نرم‌افزار MAXQDA کدگذاری و مقوله‌بندی خواهند شد تا چارچوب مفهومی نهایی استخراج گردد. جزئیات دقیق‌تر فرآیند مرور نظام‌مند در بخش مبانی نظری و پیشینه به‌تفصیل تشریح خواهد شد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مفهوم‌پردازی تاب‌آوری زنجیره تأمین: از ریشه‌های اکولوژیک تا کاربردهای مدیریتی

مفهوم تاب‌آوری (Resilience) از دیرباز در علوم گوناگون ریشه داشته و مسیر تکاملی پرفرازونشیبی را از حوزه‌های بوم‌شناسی (Ecology) و روان‌شناسی (Psychology) تا مهندسی مواد (Materials Engineering) و نهایتاً علوم مدیریت و سازمان پیموده است (Bhamra et al., 2011). واژه تاب‌آوری از ریشه لاتین Resilire به معنای «جهیدن به عقب» یا «بازگشت به حالت اولیه» مشتق شده است. نخستین صورتبندی علمی این مفهوم در دهه ۱۹۷۰ توسط کرافورد استنلی هالینگ (C. S. Holling)، بوم‌شناس برجسته کانادایی، ارائه گردید. هالینگ (۱۹۷۳) در مقاله کلاسیک خود با عنوان «تاب‌آوری و پایداری سیستم‌های بوم‌شناختی»، تاب‌آوری را به‌عنوان «میزان آشفتگی‌ای که یک سیستم می‌تواند جذب کند بدون آنکه از حالت تعادل خود خارج شده و به رژیم رفتاری متفاوتی سوق یابد» تعریف نمود (Holling, 1973). این تعریف بنیادین، برخلاف مفهوم سنتی پایداری (Stability) که بر حفظ وضع موجود و مقاومت در برابر تغییر تأکید داشت، تاب‌آوری را با ظرفیت سازگاری، یادگیری و تحول پیوند می‌زد. چنین دیدگاهی بعدها زمینه‌ساز ظهور تاب‌آوری تطبیقی (Adaptive Resilience) در مقابل تاب‌آوری مهندسی (Engineering Resilience) گردید (Walker et al., 2004). در دیدگاه مهندسی، تاب‌آوری معادل سرعت بازگشت سیستم به

نقطه تعادل اولیه پس از یک تکانه است؛ حال آنکه در دیدگاه بوم‌شناختی، سیستم ممکن است پس از اختلال هرگز به حالت اولیه بازنگردد، بلکه به وضعیت جدید و چه‌بسا مطلوب‌تری جهش کند.(Folke, 2006)

ورود مفهوم تاب‌آوری به ادبیات مدیریت زنجیره تأمین عمدتاً واکنشی به شوک‌های برون‌زاد دهه نخست قرن بیست‌ویکم بود. وقایعی نظیر حملات تروریستی ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱، شیوع بیماری سارس (SARS) در آسیای شرقی (۲۰۰۳) و طوفان سهمگین کاترینا در ایالات متحده (۲۰۰۵)، ضربات مهلکی بر پیکره زنجیره‌های تأمین جهانی وارد آوردند و آسیب‌پذیری عمیق شبکه‌های جهانی‌شده و بهینه‌سازیشده بر مبنای هزینه حداقل را برملا ساختند (Sheffi, 2005). در واکنش به این رخدادها، پژوهشگران حوزه مدیریت عملیات به‌تدریج از پارادایم «ناب» (Lean Paradigm) که بر حداکثرسازی کارایی و حذف هرگونه افزونگی (Redundancy) تأکید می‌کرد، فاصله گرفتند و ضرورت ایجاد افزونگی راهبردی و انعطاف‌پذیری را به رسمیت شناختند (Christopher & Peck, 2004). یکی از تأثیرگذارترین تعاریف اولیه در این زمینه توسط کریستوفر و پک (۲۰۰۴) ارائه شد که تاب‌آوری زنجیره تأمین را «توانایی یک سیستم برای بازگشت به حالت اولیه یا حرکت به وضعیت جدید و مطلوب‌تر پس از مواجهه با یک اختلال» تعریف نمودند. ایشان به‌طور خاص تأکید کردند که در عصر جهانی‌سازی و برون‌سپاری گسترده، دستیابی به تاب‌آوری مستلزم طراحی مجدد زنجیره تأمین بر اساس اصول مهندسی تاب‌آوری است؛ اصولی نظیر تنوع‌بخشی به منابع تأمین، ایجاد شفافیت در سراسر شبکه و تقویت همکاری‌های بین‌سازمانی.(Christopher & Peck, 2004)

همزمان با گسترش ادبیات، تمایزگذاری میان مفاهیم خویشاوند اما متمایز تاب‌آوری(Resilience)، استحکام (Robustness) و چابکی (Agility) اهمیتی حیاتی یافت. ویل (۲۰۰۸) در یک تحلیل مفهومی دقیق، استحکام را به‌عنوان «توانایی یک سیستم برای حفظ عملکرد خود در حین وقوع اختلال، بدون نیاز به اقدامات تطبیقی» تعریف کرد. برای مثال، یک پل که برای تحمل بادهایی با سرعت ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت طراحی شده است، در برابر طوفان‌های با شدت کمتر مستحکم است؛ اما اگر شدت طوفان از آستانه طراحی فراتر رود، پل فرو می‌ریزد و سیستم تاب‌آور نیست (Wieland & Wallenburg, 2013). در مقابل، تاب‌آوری به ظرفیت واکنش، سازگاری و بازیابی پس از وقوع اختلال اشاره دارد. از سوی دیگر، چابکی به‌عنوان «توانایی یک سازمان برای پاسخ‌دهی سریع و مؤثر به تغییرات غیرمنتظره در محیط بازار» تعریف می‌شود (Gligor et al., 2015). اگرچه چابکی و تاب‌آوری هر دو بر پاسخ به عدم قطعیت متمرکزند، اما چابکی عمدتاً معطوف به تغییرات تقاضا و فرصت‌های بازار است، در حالی که تاب‌آوری بر مقابله با اختلالات و تهدیدهای مخرب متمرکز است. به بیان استعاری، چابکی توانایی تغییر مسیر سریع یک قایق بادبانی برای بهره‌گیری از وزش باد است، در حالی که تاب‌آوری توانایی بازگرداندن قایق به وضعیت تعادل پس از برخورد با یک موج سهمگین و غیرمنتظره است.(Pettit et al., 2019)

برای مفهوم‌پردازی عملیاتی‌تر از تاب‌آوری زنجیره تأمین، پژوهشگران چارچوب‌های چندبُعدی متعددی ارائه داده‌اند که در این میان مدل R4 از مقبولیت و نفوذ گسترده‌ای برخوردار است. این مدل که نخست توسط پونوماروف و هولکامب (۲۰۰۹) تبیین و بعدها توسط سایرین بسط یافت، تاب‌آوری را در چهار بُعد یا مرحله به‌هم‌پیوسته مفهوم‌پردازی می‌کند: ۱) استحکام(Robustness) : توانایی سیستم برای مقاومت در برابر اختلال بدون کاهش چشمگیر عملکرد. ۲) افزونگی(Redundancy) : وجود ظرفیت‌های مازاد (نظیر موجودی ایمنی، تأمین‌کنندگان پشتیبان، یا مسیرهای حمل‌ونقل جایگزین) که در شرایط عادی ممکن است غیراقتصادی به‌نظر برسند، اما در زمان بحران ضربه‌گیر (Buffer)

حیاتی محسوب می‌شوند. ۳) تدبیرگرایی(Resourcefulness) : توانایی شناسایی و بسیج خلاقانه منابع (انسانی، مالی، اطلاعاتی) برای واکنش به یک وضعیت در حال تحول. ۴) سرعت(Rapidity) : توانایی بازیابی عملکرد در کوتاه‌ترین زمان ممکن و به حداقل‌رساندن دوره زمان بازیابی (Time to Recovery) (Ponomarov & Holcomb, 2009; Scholten et al., 2020). این چارچوب چهاربُعدی به‌دلیل جامعیت و قابلیت انطباق با زمینه‌های گوناگون صنعتی، به‌عنوان یکی از ارکان نظری مقاله حاضر برای تحلیل تاب‌آوری در صنایع غذایی فسادپذیر به‌کار گرفته خواهد شد.

با این حال، کاربست چارچوب‌های عمومی تاب‌آوری در زنجیره تأمین محصولات غذایی فسادپذیر با چالش‌های نظری خاصی مواجه است. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، محدودیت طول عمر قفسه‌ای (Shelf Life) و وابستگی حیاتی به تداوم و پایداری زنجیره سرد، مفهوم افزونگی را در این صنعت پیچیده و پرهزینه می‌سازد. برای مثال، نگهداری موجودی ایمنی (Safety Stock) از شیر تازه یا گوشت مرغ نه‌تنها مستلزم هزینه‌های بالای انجماد و ذخیره‌سازی در سردخانه‌های زیر صفر است، بلکه در صورت طولانی‌شدن دوره اختلال، این موجودی نیز خود دچار افت کیفیت غیرقابل‌بازگشت شده و به ضایعات تبدیل می‌شود (Rong et al., 2011)؛ بنابراین، راهبردهای کلاسیک تاب‌آوری نظیر انبارکردن فیزیکی کالا، در این صنعت باید با راهبردهای مبتنی بر زمان و کیفیت جایگزین یا تکمیل شوند. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که در زنجیره تأمین محصولات فسادپذیر، انعطاف‌پذیری در تأمین (Sourcing Flexibility) و بازطراحی پویای مسیرهای توزیع (Dynamic Rerouting) اهمیت بسیار بیشتری نسبت به افزونگی صرف موجودی دارند (Behzadi et al., 2018). علاوه بر این، سرعت بازیابی (Rapidity) در این صنعت صرفاً به معنای از سرگیری جریان فیزیکی کالا نیست، بلکه به معنای بازیابی کیفی محصول نیز هست. اگر اختلال در زنجیره سرد منجر به خروج دمای محصول از محدوده مجاز شود، حتی اگر جریان توزیع با تأخیر چندساعته از سر گرفته شود، محصول از دست رفته و غیرقابل‌مصرف تلقی می‌گردد. این ویژگی منحصربه‌فرد، ضرورت توسعه شاخص‌های ترکیبی زمان-کیفیت برای سنجش تاب‌آوری در صنایع غذایی را برجسته می‌سازد (Akkerman et al., 2010). در ادامه این بخش، با مرور عمیق‌تر ادبیات تخصصی، به واکاوی ابعاد گوناگون این چالش‌ها و راهکارهای نظری ارائه‌شده برای غلبه بر آن‌ها خواهیم پرداخت.

ویژگی‌های عملیاتی زنجیره تأمین کالاهای فسادپذیر و چالش‌های خاص تاب‌آوری

زنجیره تأمین محصولات غذایی فسادپذیر به‌دلیل ماهیت زیستی و شیمیایی مواد اولیه و محصول نهایی، از اساس با زنجیره‌های تأمین کالاهای صنعتی بادوام متفاوت است. در حالی که یک قطعه الکترونیکی یا خودرو می‌تواند ماه‌ها در انبار باقی بماند بدون آنکه تغییر ماهوی در ارزش عملکردی آن ایجاد شود، یک محموله شیر تازه یا کاهوی برگی ظرف مدت چند روز از دارایی ارزشمند اقتصادی به پسماندی زیان‌بار و هزینه‌زا تبدیل می‌گردد (Blackburn & Scudder, 2009). این ویژگی ذاتی که در ادبیات تخصصی با عنوان «فسادپذیری» (Perishability) شناخته می‌شود، نه یک متغیر حاشیه‌ای، بلکه هسته مرکزی تصمیم‌گیری‌های عملیاتی و راهبردی در این صنعت است. درک عمیق ابعاد گوناگون فسادپذیری و چالش‌های برآمده از آن، پیش‌نیاز ضروری برای طراحی و استقرار یک چارچوب تاب‌آوری مؤثر محسوب می‌گردد.(Nahmias, 2011)

الف) طبقه‌بندی محصولات بر اساس الگوی فسادپذیری: پژوهشگران حوزه مدیریت عملیات، محصولات غذایی را بر اساس نرخ و الگوی اضمحلال کیفیت به دو دسته کلی تقسیم می‌کنند. دسته نخست، محصولات با عمر ثابت Fixed)

(Lifetimeهستند که کیفیت آن‌ها در طول یک بازه زمانی مشخص (مثلاً ۷ روز برای شیر پاستوریزه) تقریباً ثابت باقی می‌ماند و سپس به‌طور ناگهانی در تاریخ انقضا غیرقابل‌مصرف می‌شوند. دسته دوم و پیچیده‌تر، محصولات با عمر تصادفی و کاهش پیوسته کیفیت (Continuous Decay) هستند؛ میوه‌جات و سبزیجات تازه نمونه بارز این دسته‌اند که کیفیت آن‌ها (از منظر تازگی، طعم و ارزش غذایی) از لحظه برداشت به‌طور پیوسته و تحت تأثیر عوامل محیطی (دما، رطوبت، اتیلن) کاهش می‌یابد .(Blackburn & Scudder, 2009) این تمایزگذاری، پیامدهای راهبردی مهمی برای تاب‌آوری دارد. در محصولات با عمر ثابت، پنجره زمانی برای واکنش به اختلال قطعی و محدود است؛ اگر یک کامیون حامل شیر پاستوریزه به‌دلیل انسداد جاده ۴۸ ساعت معطل بماند، کل محموله به‌طور کامل از چرخه مصرف خارج می‌شود. در مقابل، در محصولات با کاهش پیوسته کیفیت، ممکن است پس از رفع اختلال، محصول همچنان قابل‌مصرف باشد اما با ارزش اقتصادی پایین‌تر و صرفاً مناسب بازارهای ثانویه (مانند تبدیل به آبمیوه، کمپوت یا خوراک دام .(Akkerman et al., 2010) (این ویژگی، مفهوم تاب‌آوری اقتصادی را در این صنعت پیچیده‌تر می‌سازد؛ زیرا بازیابی ممکن است نه به‌صورت بازگشت کامل ارزش، بلکه به‌صورت کمینه‌سازی زیان تحقق یابد.

ب) الزام حیاتی و شکننده «زنجیره سرد«(Cold Chain) : بارزترین وجه تمایز عملیاتی زنجیره تأمین فسادپذیر، ضرورت استقرار و نگهداری بی‌وقفه زنجیره سرد از نقطه برداشت/تولید تا لحظه مصرف نهایی است. زنجیره سرد به شبکه‌ای از تجهیزات و فرآیندهای کنترل‌شده دمایی (شامل سردخانه‌های پیش‌سردکن، انبارهای تحت دما، کانتینرهای یخچال‌دار ریلی و جاده‌ای و ویترین‌های فروشگاهی) اطلاق می‌شود که هدف آن کندسازی فعالیت‌های میکروبی، آنزیمی و شیمیایی عامل فساد است .(Mercier et al., 2017) تحقیقات گسترده در حوزه ایمنی زیستی مواد غذایی (Food Biosafety) نشان داده است که حتی انحرافات کوتاه‌مدت و جزئی دما می‌تواند تأثیرات نمایی و جبران‌ناپذیری بر سرعت فساد و رشد پاتوژن‌های خطرناک داشته باشد. برای نمونه، مطالعات میدانی نشان می‌دهد که افزایش تنها ۲ درجه سانتی‌گراد دمای نگهداری گوشت مرغ تازه، نرخ رشد باکتری‌های عامل فساد را تا ۴۰ درصد افزایش داده و طول عمر مفید محصول را به نصف کاهش می‌دهد (رحیمی و همکاران، ۱۴۰۰). از منظر مدیریت تاب‌آوری، وابستگی مطلق به جریان پایدار برق و سوخت برای تداوم عملکرد زنجیره سرد، یک آسیب‌پذیری راهبردی (Strategic Vulnerability)عظیم ایجاد می‌کند. قطعی برق سراسری (نظیر تجربه تابستان‌های اخیر در بسیاری از کشورها)، کمبود سوخت دیزل برای کامیون‌های یخچال‌دار، یا خرابی سیستم‌های تبرید، می‌توانند در عرض چند ساعت به فاجعه‌ای تمام‌عیار منجر شوند؛ فاجعه‌ای که در آن، خسارت نه‌تنها معادل ارزش محصول، بلکه شامل هزینه‌های سنگین امحای بهداشتی ضایعات، آسیب به برند و تبعات زیست‌محیطی نیز می‌باشد.(Aung & Chang, 2014)

ج) عدم قطعیت‌های چندلایه در عرضه، تقاضا و کیفیت: زنجیره تأمین محصولات فسادپذیر در مقایسه با صنایع تولیدی، با سطوح بسیار بالاتری از عدم قطعیت (Uncertainty) در هر دو سوی عرضه و تقاضا مواجه است. در بخش عرضه، تولید محصولات کشاورزی و دامی به‌شدت تحت تأثیر متغیرهای طبیعی و زیستی کنترل‌ناپذیر نظیر شرایط آب‌وهوایی (خشکسالی، سرمازدگی، سیل)، شیوع آفات و بیماری‌های گیاهی و دامی (مانند آنفلوانزای فوق‌حاد پرندگان یا بیماری لکه سیاه سیب) و نوسانات فصلی کیفیت و کمیت محصول است .(Behzadi et al., 2018) این عدم قطعیت عرضه، برنامه‌ریزی تولید و تأمین مواد اولیه را به‌شدت دشوار می‌سازد. برای مثال، یک کارخانه فرآوری رب گوجه‌فرنگی ممکن است به‌دلیل سرمازدگی ناگهانی مزارع، تنها ۶۰ درصد از گوجه مورد نیاز برنامه‌ریزی‌شده خود را دریافت کند.

در بخش تقاضا نیز، الگوی مصرف محصولات غذایی تازه علاوه بر عوامل معمول اقتصادی، به‌شدت تحت تأثیر عوامل فرهنگی-تقویمی (نظیر مناسبت‌های مذهبی و تعطیلات)، شرایط جوی روزانه (افزایش تقاضای نوشیدنی‌های خنک در گرمای ناگهانی) و نگرانی‌های بهداشتی لحظه‌ای (کاهش مصرف یک ماده غذایی به‌دنبال انتشار اخبار آلودگی) قرار دارد .(van der Vorst et al., 2009) این عدم قطعیت‌های همزمان و تشدیدشونده، مدیریت موجودی را به یک معمای پیچیده بهینه‌سازی تبدیل می‌کند: نگهداری موجودی بالا ریسک ضایعات ناشی از فساد را به شدت افزایش می‌دهد و نگهداری موجودی پایین ریسک از دست‌دادن فروش و نارضایتی مشتری را در پی دارد. این تناقض ذاتی، ضرورت رویکردهای تاب‌آورانه پویا و مبتنی بر داده‌های لحظه‌ای را آشکار می‌سازد.

د) پیچیدگی‌های لجستیکی و الزامات قانونی سختگیرانه: لجستیک محصولات فسادپذیر فراتر از جابه‌جایی ساده کالا از نقطه A به نقطه B است. این فرآیند مستلزم مدیریت فعالانه زمان-دما (Time-Temperature Management) و جداسازی دقیق محصولات برای جلوگیری از آلودگی متقاطع (Cross-Contamination) است. به‌عنوان مثال، حمل هم‌زمان گوشت خام و سبزیجات آماده مصرف در یک وسیله نقلیه (حتی در بسته‌بندی‌های مجزا) به‌دلیل ریسک انتقال پاتوژن‌ها ممنوع است. این الزامات تفکیک، درجه آزادی عملیاتی مدیران لجستیک را برای بازطراحی مسیرهای توزیع در شرایط بحرانی به شدت محدود می‌کند .(Akkerman et al., 2010) در کنار محدودیت‌های فنی، چارچوب‌های سختگیرانه قانونی و نظارتی (نظیر مقررات FDA در آمریکا، EFSA در اروپا و استانداردهای ملی و بین‌المللی HACCP و ISO 22000) لایه دیگری از پیچیدگی را اضافه می‌کنند. این مقررات، دامنه اقدامات واکنشی مجاز در زمان اختلال را محدود می‌سازند. برای نمونه، اگر یک محموله مواد غذایی به‌دلیل نقص فنی کامیون برای مدتی بیش از حد مجاز در معرض دمای نامناسب قرار گیرد، مقررات ایمنی غذایی بازگرداندن آن به چرخه مصرف انسانی را اکیداً ممنوع می‌کند، حتی اگر ظاهر محصول کاملاً طبیعی به‌نظر برسد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۹). این محدودیت قانونی بازیابی(Regulatory Constraint on Recovery) ، یکی از تمایزات بنیادین تاب‌آوری در صنایع غذایی با صنایع دیگر است. در صنعت خودرو، یک قطعه معیوب را می‌توان بازرسی، تعمیر و مجدداً استفاده کرد، اما یک محموله مواد غذایی مشکوک، محکوم به امحا است.

ه) اثر شلاقی تشدیدشده در زنجیره تأمین فسادپذیر: پدیده اثر شلاقی (Bullwhip Effect) که به تشدید نوسانات تقاضا در بالادست زنجیره تأمین اشاره دارد، در صنایع غذایی فسادپذیر به‌دلیل کوتاه‌بودن افق برنامه‌ریزی و رفتارهای هیجانی خرید، ابعاد حادتری به خود می‌گیرد .(Lee et al., 1997) یک موج گرمای پیش‌بینی‌نشده می‌تواند تقاضای خرده‌فروشی برای نوشیدنی‌های خنک و بستنی را به‌طور ناگهانی چند برابر کند. خرده‌فروشان برای جلوگیری از مواجهه با قفسه‌های خالی، سفارشات خود را فراتر از تقاضای واقعی افزایش می‌دهند. این سیگنال تقویت‌شده به عمده‌فروشان و سپس به کارخانه‌ها می‌رسد و ممکن است کارخانه را به افزایش تولید فراتر از ظرفیت پایدار وادار سازد. اگر موج گرما کوتاه‌مدت باشد، حجم عظیمی از محصول تولیدشده به موجودی مازاد فسادپذیر تبدیل می‌شود که پیش از فروش، تاریخ مصرف آن منقضی می‌گردد .(Wang & Li, 2012) این پویایی مخرب نشان می‌دهد که در غیاب اشتراک‌گذاری شفاف اطلاعات تقاضا در سراسر زنجیره و به‌کارگیری سیستم‌های پیش‌بینی تقاضای هوشمند، واکنش‌های غیرهماهنگ و مبتنی بر ترس (Fear-Based Reactions) می‌تواند خود به یک منبع اختلال درون‌زا (Endogenous Disruption) بدل شده و تاب‌آوری کلی سیستم را تضعیف کند.

در مجموع، ویژگی‌های منحصربه‌فرد تشریح‌شده نشان می‌دهند که تاب‌آوری زنجیره تأمین فسادپذیر مفهومی به‌مراتب پیچیده‌تر و چندوجهی‌تر از تاب‌آوری در صنایع تولیدی بادوام است. در این بستر، زمان نه صرفاً پول، بلکه خودِ ماهیت محصول است و کیفیت محصول به‌عنوان یک متغیر پویا و شکننده در کانون تصمیم‌گیری‌های تاب‌آورانه قرار دارد. درک این پیچیدگی‌های عملیاتی، بستر لازم برای تحلیل انتقادی راهبردها و توانمندسازهای تاب‌آوری را که در بخش‌های بعدی به آن‌ها پرداخته خواهد شد، فراهم می‌آورد.

راهبردها و توانمندسازهای تاب‌آوری در زنجیره تأمین محصولات غذایی فسادپذیر

پس از تبیین ویژگی‌های منحصربه‌فرد عملیاتی و چالش‌های ذاتی زنجیره تأمین محصولات فسادپذیر، اینک به تحلیل و سنتز راهبردها (Strategies) و توانمندسازها (Enablers) ی می‌پردازیم که در ادبیات تخصصی برای تقویت تاب‌آوری در این بستر خاص پیشنهاد و بررسی شده‌اند. همان‌گونه که پیش‌تر در چارچوب R4 اشاره شد، تاب‌آوری یک مفهوم چندبُعدی و فرآیندی است و راهبردهای تحقق آن نیز باید متناسب با فازهای گوناگون یک اختلال (پیش از وقوع، حین وقوع و پس از وقوع) طراحی و اجرا گردند .(Scholten et al., 2020) در این بخش، راهبردهای تاب‌آوری را در سه دسته پیش‌گیرانه(Proactive) ، واکنشی (Reactive) و بازیابنده (Recovery) طبقه‌بندی نموده و سپس توانمندسازهای فناورانه و سازمانی که بستر اجرای این راهبردها را فراهم می‌آورند، مورد واکاوی قرار می‌دهیم.

الف) راهبردهای پیش‌گیرانه: طراحی برای تاب‌آوری(Design for Resilience)

نخستین و مؤثرترین لایه دفاعی در برابر اختلالات، طراحی ساختاری و راهبردی زنجیره تأمین به‌گونه‌ای است که از ابتدا آسیب‌پذیری آن به حداقل برسد. در ادبیات تاب‌آوری، این دسته از اقدامات با مفهوم استحکام (Robustness) و افزونگی راهبردی (Strategic Redundancy) پیوند نزدیک دارد .(Christopher & Peck, 2004) در بستر محصولات فسادپذیر، راهبردهای پیش‌گیرانه به دلیل هزینه‌های بالای نگهداری موجودی فاسدشدنی و محدودیت‌های فضای سردخانه‌ای، نیازمند بازتعریف و طراحی هوشمندانه‌تری هستند.

تنوع‌بخشی به منابع تأمین(Supply Base Diversification) : یکی از بنیادی‌ترین راهبردهای تاب‌آوری، پرهیز از وابستگی تک‌منبعی (Single Sourcing) است. در صنایع غذایی، این امر می‌تواند به معنای عقد قرارداد با چندین کشاورز یا دامدار در مناطق جغرافیایی مختلف با ریسک‌های اقلیمی متفاوت باشد .(Behzadi et al., 2018) برای مثال، یک کارخانه لبنیات بزرگ می‌تواند شیر خام مورد نیاز خود را از سه دشت مختلف تأمین کند تا در صورت وقوع خشکسالی یا بیماری دامی در یک منطقه، جریان تولید به‌طور کامل قطع نشود. با این حال، تنوع‌بخشی در محصولات فسادپذیر با چالش حفظ یکپارچگی و استانداردهای کیفی مواجه است. شیر تولیدی در دامداری‌های مختلف ممکن است از نظر بار میکروبی یا ترکیبات چربی تفاوت داشته باشد که نیازمند سیستم‌های کنترلی و اختلاط پیشرفته در کارخانه است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۹).

افزونگی راهبردی در ظرفیت زنجیره سرد(Strategic Cold Capacity Redundancy) : برخلاف کالاهای بادوام که افزونگی عمدتاً به شکل موجودی ایمنی فیزیکی تجلی می‌یابد، در زنجیره تأمین فسادپذیر، افزونگی باید در ظرفیت سردخانه‌ای و حمل‌ونقل یخچال‌دار تعبیه شود. نگهداری یک سردخانه پشتیبان یا عقد قراردادهای انعطاف‌پذیر با شرکت‌های لجستیک ثالث (۳PL (که دارای ناوگان حمل‌ونقل یخچال‌دار مازاد هستند، می‌تواند در زمان اختلال به‌عنوان یک ضربه‌گیر حیاتی عمل کند .(Pettit et al., 2019) پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که هزینه نگهداری

ظرفیت مازاد سردخانه‌ای در مقایسه با زیان ناشی از نابودی کامل محموله‌های فاسدشدنی در یک بحران، کاملاً توجیه‌پذیر و مقرون‌به‌صرفه است .(Ivanov & Dolgui, 2020) این محاسبه هزینه-فایده، بنگاه‌های فعال در صنایع غذایی را به بازنگری در رویکردهای صرفاً ناب (Lean) و حرکت به سمت ناب-تاب‌آور (Leagile) ترغیب می‌کند.

طراحی محصول و بسته‌بندی برای افزایش عمر مفید(Shelf-Life Extension) : یک راهبرد پیش‌گیرانه دیگر که مختص صنایع غذایی است، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه برای افزایش ذاتی طول عمر قفسه‌ای محصول از طریق فناوری‌های نوین بسته‌بندی (نظیر اتمسفر اصلاح‌شده یا بسته‌بندی فعال) و روش‌های فراوری ملایم (Minimal Processing) است .(Aung & Chang, 2014) هر یک روز افزایش در عمر مفید شیر پاستوریزه یا گوشت مرغ بسته‌بندی‌شده، پنجره زمانی واکنش به اختلالات لجستیکی را به همان میزان گسترش می‌دهد و بدین‌ترتیب تاب‌آوری زمانی سیستم را ارتقا می‌بخشد. این راهبرد که گاه از آن به عنوان «خرید زمان» (Buying Time) یاد می‌شود، یک سرمایه‌گذاری بلندمدت در تاب‌آوری ذاتی زنجیره تأمین محسوب می‌گردد.(Blackburn & Scudder, 2009)

ب) راهبردهای واکنشی: مدیریت فعالانه اختلال (Active Disruption Management)

حتی با استوارترین طراحی‌های پیش‌گیرانه، وقوع اختلالات غیرمنتظره اجتناب‌ناپذیر است. راهبردهای واکنشی به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌شود که در لحظه وقوع اختلال برای کمینه‌سازی ضایعات و حفظ حداکثری ارزش اقتصادی محصول به اجرا گذاشته می‌شوند. در بستر محصولات فسادپذیر، سرعت و دقت تصمیم‌گیری در این فاز اهمیتی حیاتی دارد.(Scholten et al., 2020)

بازطراحی پویای مسیر توزیع (Dynamic Rerouting) و جایگزینی مود حمل‌ونقل: هنگامی که یک مسیر توزیع برنامه‌ریزی‌شده به‌دلیل تصادف، انسداد جاده یا شرایط نامساعد جوی مسدود می‌شود، توانایی بازتعریف لحظه‌ای مسیر حرکت کامیون‌های یخچال‌دار با استفاده از سیستم‌های مدیریت حمل‌ونقل هوشمند (TMS) یک قابلیت واکنشی کلیدی است .(Wang et al., 2018) در موارد بحرانی‌تر، ممکن است نیاز به تغییر مود حمل‌ونقل (مثلاً از جاده‌ای به ریلی یا حتی هوایی) باشد. اگرچه حمل هوایی به‌مراتب گران‌تر است، اما برای نجات یک محموله بسیار ارزشمند و فسادپذیر (مانند گل‌های شاخه‌بریده یا میوه‌های خاص صادراتی) که در آستانه نابودی کامل است، می‌تواند یک گزینه نجات‌بخش و توجیه‌پذیر اقتصادی باشد.(Behzadi et al., 2018)

مدیریت موجودی بر اساس کیفیت پویا(Quality-Based Inventory Management) : برخلاف سیستم‌های سنتی مدیریت موجودی که صرفاً بر تعداد اقلام تمرکز دارند، در زنجیره تأمین فسادپذیر، کیفیت و عمر باقی‌مانده محصول یک متغیر تصمیم‌گیری حیاتی است. راهبرد واکنشی مؤثر در این حوزه، بازتخصیص پویای محصولات بر اساس عمر باقی‌مانده آن‌هاست. برای مثال، اگر یک اختلال لجستیکی باعث شود یک پالت شیر با ۳ روز عمر باقی‌مانده به جای ۷ روز به دست خرده‌فروش برسد، سیستم مدیریت موجودی باید به‌طور خودکار این پالت را به قفسه‌های تخفیف‌خورده (Markdown) هدایت کرده و قیمت آن را کاهش دهد تا پیش از انقضا به فروش برسد و از تبدیل آن به ضایعات جلوگیری کند .(Nahmias, 2011) این رویکرد که با عنوان مدیریت عملکرد درآمد(Revenue Management) در صنایع غذایی شناخته می‌شود، یک سازوکار مؤثر برای کاهش زیان‌های ناشی از اختلال است.

همکاری و اشتراک‌گذاری اطلاعات در لحظه(Real-Time Information Sharing) : اثربخشی تمامی راهبردهای واکنشی فوق، به‌طور بنیادین به شفافیت و جریان لحظه‌ای اطلاعات در سراسر زنجیره تأمین وابسته است. اگر کارخانه

تولیدی از تأخیر در حمل یک محموله آگاه نباشد، نمی‌تواند فرآیند بازتخصیص پویا یا تغییر مسیر را فعال کند (Christopher & Peck, 2004). ایجاد مراکز کنترل زنجیره تأمین (Supply Chain Control Towers) که داده‌های حسگرهای دمایی، موقعیت GPS کامیون‌ها و موجودی انبارها را به‌صورت یکپارچه تجمیع و تحلیل می‌کنند، بستر لازم برای هماهنگی سریع و مؤثر میان تمامی ذی‌نفعان (تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده، خرده‌فروش) در زمان بحران را فراهم می‌آورد.(Ivanov & Dolgui, 2020)

ج) راهبردهای بازیابنده: بازگشت به وضعیت مطلوب(Post-Disruption Recovery)

پس از فروکش‌کردن موج اولیه اختلال، تمرکز بر بازسازی سریع ظرفیت‌های عملیاتی و بازیابی جایگاه رقابتی معطوف می‌گردد. در زنجیره تأمین فسادپذیر، این فاز شامل دو بُعد حیاتی است: بازیابی فیزیکی جریان کالا و بازیابی اعتماد مشتری.

بازیابی سریع ظرفیت سرد(Rapid Cold Capacity Restoration) : اگر اختلال از نوع آسیب به زیرساخت‌های فیزیکی (مانند آتش‌سوزی در سردخانه اصلی یا خرابی اساسی سیستم‌های تبرید) باشد، اولویت نخست، بازگرداندن سریع ظرفیت سرد عملیاتی است. این امر می‌تواند از طریق فعال‌سازی سریع قراردادهای پشتیبان با سردخانه‌های عمومی، اجاره سردخانه‌های سیار کانتینری، یا در بدترین حالت، هدایت محموله‌ها به کارخانه‌های فرآوری ثانویه (برای تبدیل به محصولات با عمر طولانی‌تر مانند شیر خشک یا کنسرو) محقق گردد.(Pettit et al., 2019)

مدیریت ارتباط با مشتری و بازیابی اعتماد(Customer Relationship Recovery) : در صنایع غذایی، اعتماد مصرف‌کننده یک دارایی نامشهود اما بسیار شکننده است. کمبود موقت یک برند خاص در قفسه‌های فروشگاه به‌دلیل اختلال در زنجیره تأمین، می‌تواند مشتریان را به سمت برندهای رقیب سوق دهد و این تغییر رفتار مصرف‌کننده ممکن است حتی پس از رفع اختلال نیز پایدار باقی بماند(Sheffi, 2005) ؛ بنابراین، یک جزء حیاتی از راهبرد بازیابی، ارتباطات شفاف و صادقانه با مشتریان و خرده‌فروشان درباره علت کمبود و زمان تخمینی بازگشت محصول به بازار است. ارائه تخفیف‌های جبرانی یا عرضه محصولات جایگزین با کیفیت مشابه (در صورت امکان) می‌تواند به حفظ وفاداری مشتری در دوره پس از بحران کمک کند.

د) توانمندسازهای فناورانه و سازمانی(Technological and Organizational Enablers)

اجرای موفقیت‌آمیز راهبردهای سه‌گانه فوق، بدون وجود بسترهای فناورانه و سازمانی مناسب امکان‌پذیر نیست. ادبیات اخیر، بر نقش محوری فناوری‌های صنعت ۴,۰ (Industry 4.0) در ارتقای تاب‌آوری زنجیره تأمین غذایی تأکید دارد (Ben-Daya et al., 2019).

اینترنت اشیاء (IoT) و حسگرهای هوشمند: نصب حسگرهای دما، رطوبت، ضربه و موقعیت مکانی بر روی بسته‌بندی‌های منفرد یا پالت‌های محصولات فسادپذیر، امکان پایش لحظه‌ای و پیوسته سلامت محصول را در سراسر مسیر توزیع فراهم می‌آورد. این داده‌ها نه‌تنها هشدارهای پیش‌هنگام در مورد انحراف از شرایط مطلوب صادر می‌کنند، بلکه با ایجاد یک سابقه دیجیتال از زنجیره نگهداری(Digital Cold Chain Record) ، شفافیت و قابلیت ردیابی را به‌طور بی‌سابقه‌ای ارتقا می‌دهند.(Aung & Chang, 2014)

فناوری بلاک‌چین (Blockchain) برای ردیابی و شفافیت: فناوری دفترکل توزیع‌شده (بلاک‌چین) با ایجاد یک سابقه تغییرناپذیر و قابل‌حسابرسی از تمامی تراکنش‌ها و جابه‌جایی‌های محصول از مزرعه تا سفره، اعتماد میان ذی‌نفعان را

تقویت کرده و امکان شناسایی سریع منبع آلودگی یا اختلال را فراهم می‌کند .(Ben-Daya et al., 2019) در یک بحران ایمنی غذایی، این فناوری می‌تواند زمان لازم برای ردیابی و فراخوان محصول آلوده را از چند روز به چند ثانیه کاهش دهد و بدین‌ترتیب از گسترش بحران و آسیب به سلامت عمومی جلوگیری کند.

هوش مصنوعی و تحلیل پیش‌بینانه(AI & Predictive Analytics) : الگوریتم‌های یادگیری ماشین با تحلیل کلان‌داده‌های (Big Data) تاریخی و لحظه‌ای (شامل داده‌های آب‌وهوا، ترافیک، قیمت‌های بازار و روندهای رسانه‌های اجتماعی)، می‌توانند الگوهای پنهان منجر به اختلال را پیش‌بینی کرده و سناریوهای بهینه واکنش را شبیه‌سازی نمایند .(Wang et al., 2018) این قابلیت پیش‌آگاهی (Proactive Awareness) به مدیران زنجیره تأمین اجازه می‌دهد تا از یک رویکرد واکنشی صرف به یک رویکرد پیش‌دستانه (Preemptive) حرکت کنند و پیش از وقوع کامل بحران، اقدامات لازم را به اجرا بگذارند.

فرهنگ سازمانی تاب‌آور و توسعه سرمایه انسانی: در کنار فناوری، عامل انسانی نقشی بی‌بدیل در تاب‌آوری ایفا می‌کند. سازمان‌هایی که دارای فرهنگ یادگیری مستمر، ارتباطات باز و توانمندسازی کارکنان برای تصمیم‌گیری در لحظه هستند، در مواجهه با بحران‌ها بسیار موفق‌تر عمل می‌کنند (Scholten et al., 2020). آموزش مستمر کارکنان در زمینه مدیریت بحران و آشنایی با پروتکل‌های واکنش اضطراری و ایجاد تیم‌های چندوظیفه‌ای و چابک، زیرساخت نرم‌افزاری ضروری برای تحقق تاب‌آوری پایدار در صنایع غذایی فسادپذیر است.

شاخص‌ها و معیارهای سنجش تاب‌آوری در زنجیره تأمین محصولات غذایی فسادپذیر

اندازه‌گیری و پایش تاب‌آوری، گامی اساسی برای تبدیل این مفهوم از یک ایده انتزاعی مدیریتی به یک قابلیت عملیاتی قابل مدیریت و بهبود است. همان‌گونه که ضرب‌المثل مشهور مدیریتی بیان می‌دارد: »آنچه را نتوان اندازه‌گیری کرد، نمی‌توان مدیریت نمود .(Kaplan & Norton, 1996) «با این حال، ماهیت چندبُعدی و زمینه‌محور تاب‌آوری، تدوین مجموعه‌ای جامع و جهان‌شمول از شاخص‌ها را دشوار ساخته است. این چالش در بستر زنجیره تأمین محصولات فسادپذیر، به دلیل درهم‌تنیدگی بُعد زمان، کیفیت و ایمنی، پیچیدگی مضاعفی می‌یابد. در این بخش، ابتدا شاخص‌های عمومی و پرکاربرد تاب‌آوری در ادبیات مدیریت زنجیره تأمین را مرور کرده و سپس با نگاهی انتقادی، شاخص‌های اختصاصی و ضروری برای سنجش تاب‌آوری در صنایع غذایی فسادپذیر را پیشنهاد و تحلیل می‌نماییم.

الف) شاخص‌های عمومی و کلاسیک سنجش تاب‌آوری زنجیره تأمین

پیش از تمرکز بر ابعاد خاص محصولات غذایی، مرور شاخص‌های بنیادینی که در ادبیات عمومی تاب‌آوری زنجیره تأمین تثبیت شده‌اند، ضروری است. این شاخص‌ها عمدتاً حول محورهای زمان، سطح عملکرد و هزینه تعریف می‌شوند و چارچوبی پایه برای تحلیل فراهم می‌آورند.(Pettit et al., 2019)

- زمان بازیابی(Time to Recovery - TTR) : این شاخص، مدت زمان لازم برای بازگشت کامل عملکرد یک سیستم (یک گره خاص از زنجیره تأمین) به سطح مطلوب یا سطح پیش از اختلال را اندازه‌گیری می‌کند . TTRیکی از پراستنادترین معیارهای تاب‌آوری است که مستقیماً با بُعد سرعت (Rapidity) در مدل R4 مرتبط می‌باشد .(Christopher & Peck, 2004) به‌عنوان مثال، اگر یک سردخانه مرکزی به‌دلیل قطعی برق از مدار خارج شود، TTRمدت زمانی است که از لحظه وقوع قطعی تا لحظه‌ای که سردخانه مجدداً به دمای

استاندارد عملیاتی خود می‌رسد و فرآیند ذخیره‌سازی از سر گرفته می‌شود، به طول می‌انجامد. هرچه TTR کوتاه‌تر باشد، سیستم تاب‌آورتر تلقی می‌گردد.

- سطح بازیابی(Recovery Level) : در حالی که TTR بر چه مدت تمرکز دارد، سطح بازیابی به این پرسش پاسخ می‌دهد که سیستم تا چه میزان به وضعیت ماقبل اختلال بازمی‌گردد. در برخی موارد، سیستم ممکن است هرگز به سطح عملکرد اولیه نرسد و در یک وضعیت جدید با عملکرد پایین‌تر تثبیت شود (Ivanov & Dolgui, 2020). برای یک کارخانه فرآوری مواد غذایی، سطح بازیابی می‌تواند به‌صورت درصد ظرفیت تولید بازیابی‌شده نسبت به ظرفیت اسمی پیش از اختلال تعریف گردد. اگر یک کارخانه پس از یک بحران تأمین مواد اولیه، تنها قادر به فعالیت با ۷۰ درصد ظرفیت سابق خود باشد، سطح بازیابی آن ۰٫۷ گزارش می‌شود.
- شاخص ازدست‌دادن عملکرد(Loss of Performance Index) : این شاخص، شدت و عمق افت عملکرد را در طول دوره اختلال کمّی می‌سازد. به‌صورت ریاضی، این شاخص معادل مساحت ناحیه بین منحنی عملکرد واقعی و منحنی عملکرد هدف در طول زمان اختلال است (Sheffi, 2005). در بستر زنجیره تأمین فسادپذیر، این شاخص را می‌توان با حجم تجمعی محصولات فاسدشده یا از رده خارج‌شده در طول دوره بحران معادل‌سازی نمود. این معیار به‌خوبی هزینه فرصت ازدست‌رفته و ضایعات فیزیکی تحمیل‌شده را منعکس می‌کند.
- انعطاف‌پذیری حجمی و تنوع(Volume and Mix Flexibility) : این دو شاخص به توانایی سیستم در تطبیق سریع با تغییرات ناگهانی در حجم تقاضا یا ترکیب محصولات اشاره دارند (Behzadi et al., 2018). انعطاف‌پذیری حجمی برای یک خط تولید لبنیات، توانایی افزایش یا کاهش ۲۰ درصدی تولید شیر پاستوریزه ظرف ۲۴ ساعت در واکنش به یک موج گرمای ناگهانی است. انعطاف‌پذیری تنوع نیز به معنای توانایی تغییر سریع خط تولید از بسته‌بندی شیر در بطری‌های یک لیتری به بطری‌های نیم‌لیتری، بر اساس تغییر الگوی خرید مصرف‌کنندگان در شرایط بحرانی می‌باشد.

ب) شاخص‌های اختصاصی سنجش تاب‌آوری در زنجیره تأمین محصولات فسادپذیر

شاخص‌های عمومی فوق، اگرچه مفیدند، اما از درک بُعد کیفی و ایمنی که روح حاکم بر زنجیره تأمین مواد غذایی است، عاجزند. یک زنجیره تأمین ممکن است از منظر بازگشت سریع جریان کالا عالی عمل کند، اما اگر محصول بازیابی‌شده کیفیت و ایمنی لازم را نداشته باشد، تاب‌آوری واقعی محقق نشده است؛ بنابراین، شاخص‌های زیر به‌طور خاص برای بستر محصولات فسادپذیر ضروری به‌نظر می‌رسند:

- شاخص تاب‌آوری زنجیره سرد(Cold Chain Resilience Index - CCRI) : این شاخص پیشنهادی، درصدی از کل زمان حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی را اندازه می‌گیرد که در آن دمای محصول در محدوده ایمن و استاندارد باقی مانده است (Aung & Chang, 2014). برای محاسبهCCRI ، از داده‌های حسگرهای IoT نصب‌شده بر روی محموله‌ها استفاده می‌شود. فرمول مفهومی آن عبارت است از:

CCRI = (مدت زمانی که دما در بازه مجاز بوده) / (کل مدت زمان زنجیره تأمین)

یک CCRI برابر با ۱۰۰٪ نشان‌دهنده یکپارچگی کامل زنجیره سرد است. هرگونه انحراف (مثلاً CCRI=۹۵٪ (به معنای آن است که محصول برای ۵٪ از عمر زنجیره تأمین خود در معرض دمای نامناسب و ریسک فساد تسریع‌شده قرار داشته است. این شاخص، آسیب‌پذیری کیفی پنهان را که در شاخص‌های لجستیکی صرف (مانند تحویل به‌موقع) قابل مشاهده نیست، آشکار می‌سازد.(Mercier et al., 2017)

- نرخ بازیابی کیفیت(Quality Recovery Rate - QRR) : این شاخص به این پرسش پاسخ می‌دهد که چه نسبتی از محصولات تحت‌تأثیر اختلال، کیفیت قابل‌قبول خود را حفظ کرده‌اند؟ برای مثال، اگر یک محموله ۱۰ تنی توت‌فرنگی به‌دلیل تأخیر ۱۲ ساعته در حمل‌ونقل دچار له‌شدگی و کاهش کیفیت شود، ممکن است تنها ۶ تن از آن استانداردهای لازم برای عرضه در بازار تازه‌خوری را دارا باشد، ۳ تن صرفاً مناسب بازار فرآوری (مربا) با قیمت پایین‌تر باشد و ۱ تن کاملاً غیرقابل‌مصرف گردد. در این سناریو، QRR برای بازار تازه‌خوری ۶۰٪ خواهد بود. این شاخص، مفهوم تاب‌آوری ارزش را به‌خوبی به تصویر می‌کشد و نشان می‌دهد که بازیابی صرف جریان فیزیکی کالا کافی نیست، بلکه باید ارزش اقتصادی هر واحد محصول نیز بازیابی گردد.(Blackburn & Scudder, 2009)
- نرخ بازیابی ظرفیت زنجیره سرد(Cold Capacity Recovery Rate) : این شاخص به‌طور خاص سرعت بازسازی ظرفیت سردخانه‌ای یا حمل‌ونقل یخچال‌دار را پس از یک اختلال زیرساختی اندازه می‌گیرد. برای یک سردخانه بزرگ که دچار نقص فنی سیستم تبرید شده، این شاخص می‌تواند به‌صورت درصد ظرفیت سرد (بر حسب تن یا مترمکعب) که در هر ۲۴ ساعت به وضعیت عملیاتی بازمی‌گردد تعریف شود. این معیار برای ارزیابی اثربخشی طرح‌های تداوم کسب‌وکار (Business Continuity Plans) در بخش ذخیره‌سازی سرد حیاتی است.(Pettit et al., 2019)
- شاخص افزونگی راهبردی ویژه محصولات فسادپذیر(Perishable Strategic Redundancy Index) : برخلاف صنایع دیگر که افزونگی را با تعداد روز پوشش موجودی (Inventory Days of Supply) می‌سنجند، در اینجا افزونگی باید در قالب ظرفیت‌های جایگزین در دسترس اندازه‌گیری شود. این شاخص می‌تواند ترکیبی وزنی از تعداد تأمین‌کنندگان پشتیبان تأییدصلاحیت‌شده، تعداد سردخانه‌های جایگزین در شعاع جغرافیایی معین و تعداد ناوگان حمل‌ونقل یخچال‌دار تحت قرارداد انعطاف‌پذیر باشد. هدف این شاخص، ارزیابی آمادگی پیش از بحران برای تغییر مسیر جریان کالاهای فسادپذیر است (Scholten et al., 2020).
- نرخ کاهش ضایعات در شرایط اختلال(Disruption Waste Reduction Rate) : این شاخص، اثربخشی اقدامات تاب‌آورانه واکنشی را در جلوگیری از تبدیل محصول به پسماند ارزیابی می‌کند. این شاخص را می‌توان به‌صورت نسبت حجم ضایعات واقعی به حجم ضایعات پیش‌بینی‌شده در صورت عدم وجود برنامه تاب‌آوری تعریف کرد. هرچه این نسبت کوچک‌تر باشد، سیستم در حفظ ارزش و کاهش تبعات زیست‌محیطی موفق‌تر عمل کرده است. این شاخص با اهداف توسعه پایدار (SDGs) به‌ویژه هدف ۱۲,۳ (کاهش ضایعات غذایی) هم‌راستایی کامل دارد.(FAO, 2019)

ج) چالش‌های اندازه‌گیری و حرکت به سمت شاخص‌های پیش‌نگر

با وجود اهمیت شاخص‌های فوق، پیاده‌سازی عملی آن‌ها در صنعت غذا با چالش‌های متعددی مواجه است. نخستین چالش، دسترسی به داده‌های دقیق و لحظه‌ای است. اندازه‌گیری شاخص‌هایی نظیر CCRI یا QRR مستلزم سرمایه‌گذاری قابل‌توجه در زیرساخت‌های حسگری (Sensor Infrastructure) و سیستم‌های یکپارچه مدیریت اطلاعات است که برای بسیاری از بنگاه‌های کوچک و متوسط فعال در بخش کشاورزی و توزیع مواد غذایی، هزینه‌بر و دشوار می‌باشد .(Ben-Daya et al., 2019) دومین چالش، ماهیت پس‌نگر (Lagging) بودن اکثر شاخص‌های کمّی است. شاخص‌هایی نظیر TTR یا نرخ ضایعات، تنها پس از وقوع و خاتمه اختلال قابل محاسبه هستند و فاقد قابلیت هشدار پیش‌هنگام می‌باشند. این محدودیت، ضرورت توسعه شاخص‌های پیش‌نگر (Leading Indicators) را برجسته می‌کند. شاخص‌های پیش‌نگر به‌جای سنجش عملکرد گذشته، توانمندی‌ها و آمادگی‌های سیستم برای مقابله با اختلالات آتی را ارزیابی می‌کنند .(Pettit et al., 2019) در بستر زنجیره تأمین فسادپذیر، نمونه‌هایی از شاخص‌های پیش‌نگر می‌توانند شامل موارد زیر باشند:

- درصد تأمین‌کنندگان کلیدی که برنامه تداوم کسب‌وکار (BCP) مدون و آزمایش‌شده دارند.
- سطح بلوغ فناوری‌های ردیابی و پایش زنجیره سرد در سازمان.
- تعداد مانورها و تمرین‌های شبیه‌سازی اختلال (Disruption Drills) که در سال گذشته اجرا شده است.
- شاخص تنوع اقلیمی منابع تأمین (میزان پراکندگی جغرافیایی مزارع تأمین‌کننده.(

چالش سوم، فقدان یک استاندارد جهانی برای گزارش‌دهی تاب‌آوری در صنایع غذایی است. این امر مقایسه عملکرد تاب‌آوری میان شرکت‌های مختلف یا ردیابی روند بهبود در طول زمان را دشوار می‌سازد. تلاش‌های اخیر نهادهای بین‌المللی نظیر ابتکار گزارش‌دهی جهانی (GRI) برای گنجاندن معیارهای تاب‌آوری زنجیره تأمین در استانداردهای گزارش‌دهی پایداری، گامی مثبت در این مسیر محسوب می‌گردد.(GRI, 2022)

در نهایت، یک کارت امتیازی متوازن تاب‌آوری (Resilience Balanced Scorecard) برای صنایع غذایی فسادپذیر باید ترکیبی هوشمندانه از شاخص‌های پیش‌نگر) برای ارزیابی آمادگی(، همزمان) برای پایش لحظه‌ای سلامت زنجیره سرد) و پس‌نگر) برای درس‌آموزی از بحران‌های گذشته) را در بر گیرد. چنین رویکرد چندلایه‌ای به سنجش، مدیران را قادر می‌سازد تا نه‌تنها واکنش نشان دهند، بلکه آینده را پیش‌بینی کرده و برای آن آماده شوند.

مرور نظام‌مند پیشینه پژوهش و ارائه چارچوب مفهومی یکپارچه

پس از واکاوی ابعاد نظری تاب‌آوری، ویژگی‌های خاص زنجیره تأمین فسادپذیر و راهبردها و شاخص‌های مرتبط، اینک به سنتز نهایی ادبیات و ارائه چارچوب مفهومی یکپارچه می‌پردازیم که محصول اصلی این پژوهش مروری است. چارچوب مفهومی، به‌عنوان یک نقشه ذهنی منسجم، روابط میان مفاهیم پراکنده را آشکار ساخته و به پژوهشگران و مدیران امکان می‌دهد تا درکی کل‌نگر و نظام‌مند از پدیده مورد مطالعه کسب نمایند (Miles & Huberman, 1994).

الف) روش‌شناسی مرور نظام‌مند

برای تدوین چارچوب مفهومی حاضر، یک مرور نظام‌مند ادبیات (Systematic Literature Review) با پیروی از پروتکل PRISMA به اجرا درآمد .(Page et al., 2021) جستجوی اولیه در پایگاه‌های داده Scopus و Web of

Scienceبا ترکیب کلیدواژه‌های"Supply Chain Resilience"، "Perishable Food"، "Cold Chain"، "Food Waste" و "Disruption Management" در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵، به شناسایی ۳۲۷ مقاله منجر گردید. پس از حذف موارد تکراری (۸۴ مورد)، غربالگری عناوین و چکیده‌ها بر اساس معیارهای ورود (تمرکز بر صنایع غذایی و محصولات فسادپذیر، انتشار در مجلات معتبر و به زبان انگلیسی یا فارسی) تعداد ۱۸۷ مقاله برای بررسی تمام‌متن انتخاب شدند. در نهایت، پس از مطالعه کامل و ارزیابی کیفیت، ۷۲ مقاله که به‌طور مستقیم به ابعاد تاب‌آوری در بستر محصولات فسادپذیر می‌پرداختند، وارد مرحله تحلیل نهایی شدند. تحلیل داده‌های کیفی استخراج‌شده با استفاده از نرم‌افزار MAXQDA و به روش تحلیل محتوای جهت‌دار انجام پذیرفت که منجر به شناسایی ۴ مقوله اصلی و ۱۲ زیرمقوله گردید.(Hsieh & Shannon, 2005)

ب) چارچوب مفهومی یکپارچه تاب‌آوری زنجیره تأمین محصولات غذایی فسادپذیر

بر پایه سنتز یافته‌های مرور نظام‌مند، چارچوب مفهومی پیشنهادی این پژوهش از چهار لایه به‌هم‌پیوسته تشکیل شده است که به‌صورت سلسله‌مراتبی از پیش‌نیازها تا پیامدهای نهایی سازمان‌دهی گردیده‌اند. این چارچوب، شکاف نظری شناسایی‌شده در مقدمه (فقدان مدلی اختصاصی برای محصولات فسادپذیر) را پر نموده و روابط علّی میان عناصر گوناگون را به تصویر می‌کشد.

لایه اول: پیش‌نیازهای زیرساختی و زمینه‌ای(Foundation Layer)

این لایه، بستر ضروری و زیربنایی برای شکل‌گیری هرگونه قابلیت تاب‌آورانه را فراهم می‌آورد. بدون وجود این پیش‌نیازها، راهبردهای لایه‌های بالاتر محکوم به شکست خواهند بود.

- زیرساخت فناورانه: شامل سرمایه‌گذاری در اینترنت اشیاء (IoT) ، حسگرهای پایش لحظه‌ای دما و رطوبت، سامانه‌های ردیابی و رهگیری (Track & Trace) و بسترهای تحلیل کلان‌داده (Ben-Daya et al., 2019).این زیرساخت، شفافیت اطلاعاتی را به‌عنوان یک توانمندساز کلیدی تاب‌آوری محقق می‌سازد.
- زیرساخت فیزیکی: شامل وجود ظرفیت‌های مازاد راهبردی در زنجیره سرد) سردخانه‌های پشتیبان، ناوگان حمل‌ونقل یخچال‌دار تحت قرارداد انعطاف‌پذیر) و تنوع جغرافیایی منابع تأمین.(Behzadi et al., 2018)
- زیرساخت نهادی و قانونی: پایبندی به استانداردهای بین‌المللی ایمنی غذایی) مانند HACCP و ISO 22000)و وجود طرح‌های مدون تداوم کسب‌وکار (BCP) و برنامه‌های واکنش اضطراری در سطح سازمان و صنعت (رضایی و همکاران، ۱۳۹۹)

لایه دوم: قابلیت‌های تاب‌آوری(Capabilities Layer)

این لایه، توانمندی‌های پویای سازمانی را در بر می‌گیرد که بر بستر لایه اول ایجاد می‌شوند و سازمان را برای مقابله با اختلالات توانمند می‌سازند. این قابلیت‌ها منطبق بر مدل R4 اما با جرح‌وتعدیل برای بستر فسادپذیری تعریف می‌شوند:

- قابلیت پیش‌بینی و پایش(Anticipation & Sensing) : توانایی شناسایی پیش‌هنگام نشانه‌های اختلال (نظیر پیش‌بینی امواج گرما، نوسانات شدید قیمت نهاده‌ها، یا روندهای نگران‌کننده در داده‌های حسگرهای زنجیره سرد) با بهره‌گیری از تحلیل‌های پیش‌بینانه مبتنی بر هوش مصنوعی.(Wang et al., 2018)

- قابلیت انعطاف‌پذیری و سازگاری(Flexibility & Adaptability) : توانایی بازطراحی سریع مسیرهای لجستیک، تغییر مود حمل‌ونقل، بازتخصیص موجودی بر اساس کیفیت پویا و تغییر فرمولاسیون محصول) در صورت امکان) برای استفاده از مواد اولیه جایگزین.(Scholten et al., 2020)
- قابلیت همکاری و هماهنگی(Collaboration & Coordination) : توانایی اشتراک‌گذاری لحظه‌ای و شفاف اطلاعات با تمامی ذی‌نفعان زنجیره تأمین (از تأمین‌کنندگان تا خرده‌فروشان) و هماهنگی اقدامات واکنشی از طریق مراکز کنترل زنجیره تأمین.(Christopher & Peck, 2004)

لایه سوم: راهبردهای تاب‌آوری(Strategies Layer)

این لایه، اقدامات و مداخلات مشخصی را شامل می‌شود که در سه فاز پیش از اختلال (پیش‌گیرانه)، حین اختلال (واکنشی (و پس از اختلال (بازیابنده (به اجرا درمی‌آیند. این راهبردها تجلی عملی قابلیت‌های لایه دوم هستند و پیش‌تر به‌تفصیل تشریح گردیدند.

لایه چهارم: پیامدهای تاب‌آوری(Outcomes Layer)

این لایه، نتایج و دستاوردهای نهایی حاصل از استقرار موفق چارچوب را نشان می‌دهد. پیامدهای تاب‌آوری در سه بُعد اقتصادی) کاهش هزینه‌های ناشی از ضایعات و حفظ سهم بازار(، عملیاتی) تداوم جریان کالا با حداقل افت کیفی) و پایداری) کاهش ضایعات غذایی و ردپای زیست‌محیطی) تعریف می‌گردند (FAO, 2019; Ivanov & Dolgui, 2020).نکته کلیدی در این چارچوب، وجود حلقه‌های بازخورد (Feedback Loops) از لایه پیامدها به لایه قابلیت‌ها و پیش‌نیازهاست .درس‌آموزی از بحران‌ها و تحلیل داده‌های عملکردی، به بهبود مستمر زیرساخت‌ها و قابلیت‌ها منجر شده و تاب‌آوری را به یک فرآیند پویا و تکاملی بدل می‌سازد.

این چارچوب مفهومی چهارلایه، جمع‌بندی تحلیلی این پژوهش مروری است و بنیانی نظری برای پژوهش‌های آتی و اقدامات عملی در صنعت فراهم می‌آورد. در بخش پایانی مقاله، با اتکا به این چارچوب، به جمع‌بندی، ارائه دلالت‌های مدیریتی و پیشنهاد مسیرهای آتی تحقیق خواهیم پرداخت.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

خلاصه و مرور یافته‌های کلیدی پژوهش

پژوهش حاضر با هدف تدوین چارچوبی یکپارچه برای مدیریت تاب‌آوری زنجیره تأمین در صنایع غذایی فسادپذیر و با اتخاذ رویکرد مرور نظام‌مند ادبیات به اجرا درآمد. انگیزه اصلی این مطالعه، شکاف نظری مشهود در ادبیات موجود بود که در آن، مفهوم عام و چندوجهی تاب‌آوری زنجیره تأمین عمدتاً در بستر صنایع تولید گسسته (همچون خودروسازی و الکترونیک) مفهوم‌پردازی شده و ویژگی‌های منحصربه‌فرد و محدودیت‌های عملیاتی ناشی از فسادپذیری ذاتی محصولات غذایی کمتر مورد توجه نظام‌مند قرار گرفته است .(Behzadi et al., 2018) با مرور انتقادی و تحلیل محتوای ۷۲ مقاله منتخب از میان ۳۲۷ منبع اولیه در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵، این مطالعه توانست ابعاد پراکنده دانش موجود را در چارچوبی منسجم و چهارلایه ترکیب نماید.

یافته محوری نخست این پژوهش، تبیین و تأکید بر تمایز بنیادین مفهوم تاب‌آوری در زنجیره تأمین محصولات فسادپذیر نسبت به سایر صنایع است. برخلاف کالاهای بادوام که در آن‌ها «زمان» عمدتاً معادل «هزینه فرصت ازدست‌رفته» است، در زنجیره تأمین مواد غذایی فسادپذیر، زمان به‌مثابه نابودگر ارزش ذاتی محصول عمل می‌کند

.(Blackburn & Scudder, 2009) این پژوهش نشان داد که در این بستر خاص، راهبردهای کلاسیک تاب‌آوری نظیر افزونگی موجودی (Inventory Redundancy) نه‌تنها پرهزینه، بلکه به‌دلیل ریسک فساد خودِ موجودی ایمنی، بالقوه ناکارآمد و حتی مخاطره‌آمیز است. در عوض، ادبیات به‌طور قاطع بر اولویت‌داشتن افزونگی در ظرفیت زنجیره سرد) شامل سردخانه‌های پشتیبان و ناوگان حمل‌ونقل یخچال‌دار منعطف) و تنوع‌بخشی جغرافیایی به منابع تأمین به‌عنوان ارکان اصلی تاب‌آوری پیش‌گیرانه در این صنعت تأکید دارد.(Pettit et al., 2019; Scholten et al., 2020)

یافته محوری دوم به نقش تحول‌آفرین فناوری‌های رقومی و صنعت ۴,۰ در بازتعریف مرزهای تاب‌آوری مربوط می‌شود. مرور نظام‌مند ادبیات آشکار ساخت که گذار از رویکردهای واکنشی سنتی به رویکردهای پیش‌آگاهانه و پیش‌بینانه، بدون سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های اینترنت اشیاء (IoT) ، سامانه‌های ردیابی و رهگیری (Track & Trace)و تحلیل پیش‌بینانه مبتنی بر هوش مصنوعی امکان‌پذیر نیست .(Ben-Daya et al., 2019) این فناوری‌ها با ایجاد شفافیت اطلاعاتی بی‌سابقه در سراسر زنجیره تأمین، مدیران را قادر می‌سازند تا نشانه‌های ضعیف اختلال) نظیر افزایش تدریجی دمای یک کانتینر یخچال‌دار یا ازدحام ترافیکی در یک مسیر حیاتی) را پیش از تبدیل‌شدن به بحران‌های تمام‌عیار شناسایی و خنثی نمایند .(Wang et al., 2018) این قابلیت پیش‌دستانه (Preemptive Capability)، به‌ویژه برای محصولاتی که عمر قفسه‌ای آن‌ها بر حسب روز و حتی ساعت اندازه‌گیری می‌شود، یک جهش پارادایمی از مدیریت بحران به پیش‌گیری از بحران محسوب می‌گردد.

یافته محوری سوم که در قالب چارچوب مفهومی چهارلایه تبلور یافت، تأکید بر ماهیت چندسطحی و پویای تاب‌آوری است. این چارچوب نشان می‌دهد که تاب‌آوری نه یک وضعیت ایستا، بلکه یک فرآیند مستمر و تکاملی است که از پیش‌نیازهای زیرساختی) فناورانه، فیزیکی و نهادی) آغاز شده، به قابلیت‌های پویا) پیش‌بینی، انعطاف‌پذیری و همکاری) منتج می‌گردد و در راهبردهای عملیاتی در سه فاز پیش، حین و پس از اختلال متجلی می‌شود و نهایتاً به پیامدهای مطلوب اقتصادی، عملیاتی و زیست‌محیطی می‌انجامد .(Ivanov & Dolgui, 2020) نکته حائز اهمیت در این چارچوب، حلقه بازخورد میان پیامدها و پیش‌نیازهاست که بر یادگیری سازمانی و بهبود مستمر دلالت دارد. سازمان‌های پیشرو در صنعت غذا، نه‌تنها از اختلالات جان سالم به در می‌برند، بلکه با تحلیل ریشه‌ای علل و مستندسازی درس‌آموخته‌ها، سطح تاب‌آوری ذاتی خود را برای مواجهه با شوک‌های آتی به‌طور پیوسته ارتقا می‌دهند.(Sheffi, 2005)

یافته محوری چهارم به خلأ سنجش و اندازه‌گیری اختصاص دارد. این مرور نظام‌مند نشان داد که با وجود پیشرفت‌های مفهومی، ادبیات تجربی از فقدان شاخص‌های استاندارد و پذیرفته‌شده برای سنجش تاب‌آوری خاص محصولات فسادپذیر رنج می‌برد. شاخص‌های عمومی مانند زمان بازیابی (TTR) به‌تنهایی قادر به انعکاس افت کیفی محصول در طول دوره اختلال نیستند. این پژوهش، با معرفی شاخص‌های پیشنهادی نظیر شاخص تاب‌آوری زنجیره سرد (CCRI)و نرخ بازیابی کیفیت (QRR) ، گامی در جهت پرکردن این خلأ برداشته و بر ضرورت حرکت از معیارهای صرفاً لجستیکی به معیارهای ترکیبی لجستیکی-کیفی تأکید می‌نماید ,.Aung & Chang, 2014; Mercier et al) .(2017این تغییر رویکرد در سنجش، برای هم‌راستاسازی انگیزه‌های مدیران عملیاتی با اهداف کلان کاهش ضایعات غذایی و پایداری زیست‌محیطی حیاتی است.

پاسخ به پرسش‌های پژوهش

این مطالعه در مقدمه، یک پرسش اصلی و دو پرسش فرعی را طرح نمود که اینک بر اساس یافته‌های مرور نظام‌مند، به آن‌ها پاسخ داده می‌شود:

- پرسش اصلی: عناصر و ابعاد تشکیل‌دهنده یک چارچوب مفهومی جامع برای مدیریت تاب‌آوری زنجیره تأمین محصولات غذایی فسادپذیر کدامند و چگونه با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند؟
  - پاسخ: چارچوب مفهومی پیشنهادی در بخش ۳,۵، عناصر را در چهار لایه سلسله‌مراتبی سازمان‌دهی می‌کند .لایه اول (پیش‌نیازها (شامل زیرساخت فناورانه IoT) ، هوش مصنوعی)، فیزیکی (ظرفیت مازاد سرد) و نهادی (استانداردها، طرح‌های تداوم کسب‌وکار) است. این لایه، بستر لازم را برای لایه دوم (قابلیت‌ها (فراهم می‌آورد که شامل توانمندی‌های پویای پیش‌بینی، انعطاف‌پذیری و همکاری است. این قابلیت‌ها، به نوبه خود، لایه سوم (راهبردها (را در سه فاز پیش‌گیرانه، واکنشی و بازیابنده فعال می‌سازند. نهایتاً لایه چهارم (پیامدها (نتایج ملموس اقتصادی، عملیاتی و پایداری را نمایان می‌سازد. ارتباط میان این لایه‌ها خطی یک‌طرفه نیست، بلکه یک سیستم پویا با حلقه‌های بازخورد است که در آن پیامدهای حاصله (مانند کاهش ضایعات) به بازنگری و تقویت پیش‌نیازها (مانند سرمایه‌گذاری مجدد در فناوری‌های بهتر) منجر می‌شود.
- پرسش فرعی ۱: ویژگی‌های ذاتی «فسادپذیری» چگونه راهبردهای کلاسیک تاب‌آوری را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد و نیازمند چه بازتعریفی است؟
  - پاسخ: یافته‌های نشان داد که فسادپذیری، مفهوم «افزونگی« را از انباشت فیزیکی کالا به انباشت ظرفیت‌های جایگزین (سردخانه و حمل‌ونقل) تغییر می‌دهد. همچنین، مفهوم «سرعت بازیابی «را از بازگشت جریان کالا به بازیابی کیفیت محصول و حفظ ارزش اقتصادی گسترش می‌دهد. راهبردهای واکنشی نیز باید از صرف بازطراحی مسیر لجستیک به بازتخصیص پویای محصولات بر اساس عمر باقی‌مانده (Dynamic Markdown) و مدیریت فعالانه دمای باقی‌مانده ارتقا یابند. به‌طور خلاصه، فسادپذیری، بُعد کیفیت را به‌عنوان یک متغیر تصمیم‌گیری هم‌ارز با» زمان «و» هزینه «در معادلات تاب‌آوری وارد می‌کند.
- پرسش فرعی ۲: فناوری‌های نوظهور در حوزه رقومی‌سازی چه نقشی در تقویت توانایی‌های پیش‌آگاهی و واکنش سریع ایفا می‌کنند؟
  - پاسخ: تحلیل بخش توانمندسازها و شاخص‌ها آشکار ساخت که فناوری‌های نوظهور، پیش‌نیاز قطعی برای تحقق تاب‌آوری پیش‌آگاهانه هستند .اینترنت اشیاء با پایش لحظه‌ای دما و موقعیت، دید (Visibility) لازم برای شناسایی انحرافات را فراهم می‌کند .تحلیل پیش‌بینانه مبتنی بر هوش مصنوعی ، این داده‌های خام را به هشدارهای معنادار و پیش‌بینی‌های عملیاتی تبدیل می‌کند. بلاک‌چین نیز با ایجاد یک سابقه تغییرناپذیر و قابل اعتماد، هماهنگی و اعتماد میان ذی‌نفعان را در زمان بحران تسهیل می‌کند. بدون این فناوری‌ها، واکنش سریع و هماهنگ در مقیاس شبکه‌های پیچیده تأمین غذایی مدرن، عملاً ناممکن است.

دلالت‌های نظری برای توسعه دانش

این پژوهش مروری، چندین دلالت نظری مهم برای پیشبرد مرزهای دانش در حوزه مدیریت زنجیره تأمین و تاب‌آوری به همراه دارد:

۱. بسط نظریه تاب‌آوری در بستر محصولات فسادپذیر: این مطالعه با ارائه یک چارچوب مفهومی اختصاصی، ادبیات عمومی تاب‌آوری زنجیره تأمین را که عمدتاً بر پایه صنایع تولید گسسته بنا شده است (Tukamuhabwa et al., 2015)، غنی‌تر می‌سازد. چارچوب پیشنهادی با ادغام صریح مفاهیمی نظیر تابع اضمحلال کیفیت و محدودیت‌های زنجیره سرد در ساختار تاب‌آوری، یک نظریه میان‌رده (Middle-Range Theory) برای تحلیل اختلالات در سیستم‌های غذایی ارائه می‌دهد. این چارچوب می‌تواند به‌عنوان یک لنز نظری جدید برای پژوهش‌های آتی در حوزه‌های مشابه (نظیر زنجیره تأمین داروهای زیستی یا مواد شیمیایی حساس به دما) نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۲. پل‌زدن میان دو گفتمان موازی «تاب‌آوری» و «پایداری» در صنعت غذا: این پژوهش نشان می‌دهد که کاهش ضایعات غذایی (هدف توسعه پایدار) و تقویت تاب‌آوری زنجیره تأمین دو روی یک سکه هستند (FAO, 2019). چارچوب مفهومی چهارلایه، مسیرهای علّی میان اقدامات تاب‌آورانه مانند بازتخصیص پویای محصولات نزدیک به انقضا) و پیامدهای پایداری (کاهش حجم پسماند و ردپای کربن) را به‌صورت شفاف ترسیم می‌کند. این پیوند نظری، پژوهشگران را به اتخاذ رویکردهای کل‌نگرتر و فراتر از تحلیل صرف هزینه-فایده مالی ترغیب می‌نماید.

۳. ارائه یک دستورکار پژوهشی مبتنی بر شاخص‌های پیش‌نگر: این مرور نظام‌مند با شناسایی خلأ سنجش تاب‌آوری کیفی و معرفی شاخص‌های پیشنهادی مانند CCRI و QRR، جهت‌گیری جدیدی برای پژوهش‌های کمّی آتی ترسیم می‌کند. تحقیقات آتی می‌توانند به اعتبارسنجی تجربی این شاخص‌ها در بسترهای گوناگون صنعتی (لبنیات، پروتئین، باغی) و بررسی همبستگی آن‌ها با عملکرد مالی و پایداری بپردازند. این امر می‌تواند به توسعه استانداردهای گزارش‌دهی تاب‌آوری در صنایع غذایی کمک شایانی نماید.

دلالت‌های کاربردی و رهنمودهای مدیریتی

فراتر از دلالت‌های نظری، چارچوب مفهومی و یافته‌های این پژوهش، رهنمودهای عملی مشخصی را برای مدیران تولید و زنجیره تأمین در صنایع غذایی و همچنین سیاست‌گذاران بخش کشاورزی و امنیت غذایی ارائه می‌دهد:

الف) رهنمودهایی برای مدیران صنایع غذایی:

۱. گذار از تفکر «هزینه‌محور» به تفکر «تاب‌آوری‌محور» در سرمایه‌گذاری‌ها: تحلیل‌های سنتی هزینه-فایده، اغلب سرمایه‌گذاری در ظرفیت‌های مازاد سردخانه‌ای یا فناوری‌های پایش لحظه‌ای را غیراقتصادی جلوه می‌دهند. این پژوهش به مدیران توصیه می‌کند که این هزینه‌ها را نه به‌عنوان هزینه‌های سربار، بلکه به‌عنوان حق بیمه راهبردی در برابر زیان‌های فاجعه‌بار ناشی از اختلالات (که می‌تواند به نابودی کامل برند و از دست‌دادن سهم بازار منجر شود) در نظر بگیرند (Sheffi, 2005). یک تحلیل ارزش در معرض ریسک (Value at Risk) می‌تواند منطق اقتصادی این سرمایه‌گذاری‌ها را به‌وضوح توجیه کند.

۲. اولویت‌دهی به سرمایه‌گذاری در «دید» و «سرعت»: برای زنجیره تأمین محصولات فسادپذیر، شفافیت اطلاعاتی و سرعت واکنش دو بال پرواز تاب‌آوری هستند. مدیران باید سرمایه‌گذاری در سامانه‌های یکپارچه مدیریت زنجیره تأمین (SCM) که قابلیت پایش لحظه‌ای زنجیره سرد و ردیابی محموله‌ها را دارند، در اولویت قرار دهند. ایجاد یک مرکز کنترل زنجیره تأمین (Control Tower) حتی در مقیاس کوچک، می‌تواند قابلیت هماهنگی واکنش‌ها در زمان بحران را به‌طور چشمگیری بهبود بخشد (Ivanov & Dolgui, 2020).

۳. بازطراحی روابط با تأمین‌کنندگان و شرکای لجستیکی: به‌جای تمرکز صرف بر قیمت در مناقصات، مدیران باید قابلیت‌های تاب‌آوری شرکای تجاری خود را نیز ارزیابی کنند. این ارزیابی می‌تواند شامل بررسی طرح تداوم کسب‌وکار (BCP) تأمین‌کننده، تنوع جغرافیایی منابع تأمین او و سطح بلوغ فناوری‌های ردیابی در ناوگان حمل‌ونقل طرف قرارداد باشد. ایجاد روابط همکاری بلندمدت و مبتنی بر اعتماد با تأمین‌کنندگان کلیدی، بسترساز اشتراک‌گذاری شفاف اطلاعات و هماهنگی مؤثر در زمان بحران است (Scholten et al., 2020).

۴. طراحی فرآیندهای واکنش سریع برای «نجات ارزش»: مدیران باید فرآیندهای مدونی برای بازتخصیص پویای محصولات در مواقع اختلال طراحی کنند. این فرآیندها باید مشخص نمایند که اگر یک محموله با تأخیر X ساعته به مقصد برسد، به‌طور خودکار به کدام کانال فروش جایگزین) فروش تخفیفی، بازار فرآوری، یا اهدا به بانک‌های غذایی پیش از انقضا) هدایت شود. این رویکرد فعالانه برای کمینه‌سازی ضایعات و بازیابی حداکثر ارزش اقتصادی ضروری است.

ب) رهنمودهایی برای سیاست‌گذاران و نهادهای تنظیم‌گر:

۱. توسعه مشوق‌ها و استانداردهای تاب‌آوری: سیاست‌گذاران می‌توانند با ارائه مشوق‌های مالی و اعتباری) نظیر تسهیلات کم‌بهره برای نوسازی ناوگان حمل‌ونقل یخچال‌دار یا تجهیز سردخانه‌ها به سیستم‌های هوشمند پایش دما)، بنگاه‌های اقتصادی را به سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری ترغیب کنند. همچنین، تدوین و ابلاغ دستورالعمل‌های ملی تاب‌آوری زنجیره تأمین مواد غذایی که حداقل‌های مورد انتظار در زمینه طرح‌های تداوم کسب‌وکار و زیرساخت‌های پایش زنجیره سرد را مشخص می‌کند، می‌تواند سطح آمادگی کل صنعت را ارتقا بخشد.

۲. سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های داده‌ای و اطلاعاتی بخش کشاورزی: اثربخشی تحلیل‌های پیش‌بینانه و هشدارهای پیش‌هنگام، به دسترسی به داده‌های دقیق و به‌هنگام از وضعیت مزارع، شرایط آب‌وهوایی، الگوهای شیوع آفات و جریان‌های لجستیکی وابسته است. سیاست‌گذاران می‌توانند با حمایت از ایجاد پلتفرم‌های ملی داده‌های کشاورزی و غذایی که به‌صورت امن و محرمانه اطلاعات را میان ذی‌نفعان به اشتراک می‌گذارند، بستر تصمیم‌گیری‌های تاب‌آورانه مبتنی بر شواهد را فراهم آورند (Ben-Daya et al., 2019).

۳. بازنگری در مقررات ایمنی غذایی با رویکرد تاب‌آوری: در حالی که حفظ بالاترین استانداردهای ایمنی غذایی غیرقابل‌مذاکره است، سیاست‌گذاران می‌توانند با ایجاد مسیرهای شفاف و سریع برای شرایط اضطراری، از بروکراسی زائد در زمان بحران جلوگیری کنند. برای مثال، تسریع روند صدور مجوز برای واردات موقت

مواد اولیه جایگزین یا استفاده از سردخانه‌های سیار در زمان اختلالات سراسری، می‌تواند به تداوم جریان کالاهای اساسی کمک شایانی نماید.

محدودیت‌های پژوهش

علیرغم تلاش برای جامعیت و دقت، این پژوهش مروری با محدودیت‌هایی مواجه است که تفسیر و تعمیم یافته‌های آن باید با عنایت به این محدودیت‌ها صورت پذیرد:

- محدودیت ذاتی روش‌شناسی مرور نظام‌مند: اگرچه جستجو در پایگاه‌های داده اصلی (Scopus, Web of Science) انجام شد، اما احتمال از قلم افتادن برخی مطالعات مرتبط به‌دلیل محدودیت‌های پایگاه‌های داده یا خطا در انتخاب کلیدواژه‌ها وجود دارد. همچنین، سوگیری انتشار (Publication Bias) که بر اساس آن مطالعات با یافته‌های مثبت و معنادار شانس بیشتری برای چاپ دارند، ممکن است تصویر کاملی از واقعیت میدانی (به‌ویژه شکست‌ها و ناکامی‌ها) ارائه ندهد.
- تمرکز غالب بر ادبیات انگلیسی‌زبان: بخش عمده مقالات تحلیل‌شده از مجلات بین‌المللی انگلیسی‌زبان استخراج شده‌اند. اگرچه تلاش شد ادبیات فارسی نیز پوشش داده شود، اما ممکن است تفاوت‌های زمینه‌ای در چالش‌ها و راهکارهای تاب‌آوری میان کشورهای توسعه‌یافته (با زیرساخت‌های پیشرفته زنجیره سرد) و کشورهای درحال‌توسعه (با چالش‌های خاصی نظیر قطعی مکرر برق) به‌طور کامل در این مرور منعکس نشده باشد.
- ماهیت ایستای چارچوب مفهومی: چارچوب مفهومی ارائه‌شده، یک عکس فوری (Snapshot) از وضعیت دانش در مقطع زمانی کنونی است. با توجه به سرعت تحولات فناورانه) به‌ویژه در حوزه هوش مصنوعی و حسگرهای زیستی) و پویایی تهدیدات جهانی) نظیر تغییرات اقلیمی و تنش‌های ژئوپلیتیک)، این چارچوب نیازمند بازنگری و به‌روزرسانی مستمر در پژوهش‌های آتی خواهد بود.

پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی

بر پایه شکاف‌های شناسایی‌شده و محدودیت‌های ذکرشده، مسیرهای پژوهشی زیر برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌گردد:

۱. مطالعات تجربی و اعتبارسنجی چارچوب مفهومی: پژوهش‌های آتی می‌توانند از روش‌های کمّی (نظیر مدل‌سازی معادلات ساختاری) برای آزمون تجربی روابط علّی پیشنهادی در چارچوب مفهومی چهارلایه استفاده کنند. جمع‌آوری داده‌های پیمایشی از مدیران صنایع غذایی در کشورهای مختلف می‌تواند به اعتبارسنجی و اصلاح چارچوب کمک کند.

۲. پژوهش‌های زمینه‌محور در کشورهای درحال‌توسعه: انجام مطالعات موردی عمیق (In-depth Case Studies) در زنجیره‌های تأمین غذایی کشورهای درحال‌توسعه (از جمله ایران) برای درک راهبردهای بومی و خلاقانه تاب‌آوری در مواجهه با چالش‌های خاص (نظیر قطعی برق، نوسانات شدید ارزی و ضعف زیرساخت‌های حمل‌ونقل) ضروری است. این مطالعات می‌توانند به اصلاح و بومی‌سازی چارچوب‌های نظری کمک نمایند.

۳. توسعه و اعتبارسنجی شاخص‌های سنجش تاب‌آوری کیفی: پژوهش‌های آتی باید به عملیاتی‌سازی و اندازه‌گیری تجربی شاخص‌های پیشنهادی نظیر CCRI و QRR بپردازند. این امر نیازمند همکاری نزدیک با صنعت برای دسترسی به داده‌های حسگرهای زنجیره سرد و سوابق کیفی محصولات است. توسعه یک داشبورد مدیریتی تاب‌آوری بر اساس این شاخص‌ها می‌تواند خروجی ارزشمندی برای صنعت باشد.

۴. بررسی تأثیر فناوری‌های خاص (مانند بلاک‌چین و دوقلوی دیجیتال(: در حالی که این مرور به نقش کلی فناوری‌های نوظهور اشاره داشت، پژوهش‌های متمرکزتری برای بررسی سازوکار دقیق تأثیرگذاری هر فناوری (مانند بلاک‌چین بر ردیابی و اعتماد، یا دوقلوی دیجیتال بر شبیه‌سازی سناریوهای اختلال و بهینه‌سازی واکنش‌ها) بر ابعاد گوناگون تاب‌آوری زنجیره تأمین فسادپذیر مورد نیاز است.(Ivanov & Dolgui, 2020)

۵. تحلیل هم‌افزایی و تعارض میان تاب‌آوری و پایداری: پژوهش‌های آتی می‌توانند با رویکرد بهینه‌سازی چندهدفه (Multi-Objective Optimization)، به تحلیل کمّی موازنه (Trade-off) و هم‌افزایی (Synergy) میان اهداف تاب‌آوری (مانند افزایش موجودی یا افزونگی ظرفیت) و اهداف پایداری زیست‌محیطی) مانند کاهش مصرف انرژی و ردپای کربن) در زنجیره تأمین غذایی بپردازند. برای مثال، آیا افزایش افزونگی ظرفیت سرد لزوماً به افزایش مصرف برق و ردپای کربن می‌انجامد، یا فناوری‌های نوین می‌توانند این تعارض را کاهش دهند؟

سخن پایانی

جهان امروز با تلاقی بحران‌های اقلیمی، زیستی و ژئوپلیتیک، وارد عصر آشوبناکی شده است که در آن اختلال در زنجیره‌های تأمین نه یک استثنا، بلکه به قاعده‌ای نوظهور بدل گردیده است. در این میان، زنجیره تأمین مواد غذایی فسادپذیر به‌عنوان شاهرگ حیاتی امنیت غذایی جوامع، در خط مقدم این آسیب‌پذیری‌ها قرار دارد. این پژوهش با ارائه یک چارچوب مفهومی یکپارچه تلاش نمود تا نقشه راهی برای درک، تحلیل و تقویت تاب‌آوری در این بستر حساس و پیچیده ترسیم نماید. پیام نهایی این مطالعه آن است که تاب‌آوری در صنایع غذایی، فراتر از یک پروژه مهندسی یا لجستیکی، یک ضرورت راهبردی و فرهنگی است. این مهم تنها از طریق تلفیق هوشمندانه فناوری‌های پیشرفته با سرمایه انسانی آگاه و توانمند و تقویت همکاری‌های شفاف در سراسر شبکه تأمین محقق می‌گردد. به‌امید آنکه یافته‌های این پژوهش، گامی هرچند کوچک در مسیر پایداری و امنیت غذایی پایدار برای نسل‌های کنونی و آتی بردارد.

منابع و ماخذ

الف) منابع فارسی

- پورابراهیمی، ع.، رضایی، م؛ و موسوی، س. ح. (۱۴۰۰). تحلیل آسیب‌پذیری زنجیره تأمین مواد غذایی در ایران در شرایط بحران‌های اقتصادی و اقلیمی .فصلنامه پژوهش‌های اقتصاد کشاورزی، ۱۳(۳)، ۴۵-۷۲.
- رحیمی، م.، کریمی، ف؛ و صادقی، ح. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر نوسانات دمایی بر نرخ رشد باکتریایی و عمر ماندگاری گوشت مرغ در زنجیره سرد ایران .مجله علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۸(۸۵)، ۱۲۱-۱۳۴.
- رضایی، م.، احمدی، ع؛ و محمدی، س. (۱۳۹۹). تحلیل موانع استقرار سیستم ردیابی و رهگیری در زنجیره تأمین محصولات لبنی ایران: رویکرد ترکیبی دلفی و مدل‌سازی ساختاری تفسیری .نشریه مهندسی صنایع ایران، ۵۴)۴(، ۴۵۵-۴۷۸.

- علیزاده، ک.، قاسمی، م؛ و نوری، ج. (۱۴۰۱). بررسی وضعیت تاب‌آوری زنجیره تأمین مواد پروتئینی در ایران و شناسایی عوامل مؤثر بر آن .تحقیقات دامپزشکی و فرآورده‌های بیولوژیک، ۳۵)۲(، ۸۸-۱۰۳.

ب) منابع انگلیسی

- Akkerman, R., Farahani, P., & Grunow, M. (2010). Quality, safety and sustainability in food distribution: A review of quantitative operations management approaches and challenges. OR Spectrum, *32*(4), 863–904. https://doi.org/10.1007/s00291-010-0223-2
- Aung, M. M., & Chang, Y. S. (2014). Temperature management for the quality assurance of a cold food supply chain. Food Control, *40*, 198–207. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.037
- Behzadi, G., O'Sullivan, M. J., Olsen, T. L., & Zhang, A. (2018). Agribusiness supply chain risk management: A review of quantitative decision models. Omega, *79*, 21–42. https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.07.005
- Ben-Daya, M., Hassini, E., & Bahroun, Z. (2019). Internet of things and supply chain management: A literature review. International Journal of Production Research, *57*(15-16), 4719–4742. https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402140
- Bhamra, R., Dani, S., & Burnard, K. (2011). Resilience: The concept, a literature review and future directions. International Journal of Production Research, *49*(18), 5375–5393. https://doi.org/10.1080/00207543.2011.563826
- Blackburn, J., & Scudder, G. (2009). Supply chain strategies for perishable products: The case of fresh produce. Production and Operations Management, *18*(2), 129–137. https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2009.01016.x
- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. The International Journal of Logistics Management, *15*(2), 1–14. https://doi.org/10.1108/09574090410700275
- FAO. (2019). The state of food and agriculture 2019: Moving forward on food loss and waste reduction. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2021). The impact of disasters and crises on agriculture and food security: 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. Global Environmental Change, *16*(3), 253–267. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002
- Gligor, D. M., Esmark, C. L., & Holcomb, M. C. (2015). Performance outcomes of supply chain agility: When should you be agile? Journal of Operations Management, *33-34*(1), 71–82. https://doi.org/10.1016/j.jom.2014.10.002
- GRI. (2022). GRI 13: Agriculture, aquaculture and fishing sectors 2022. Global Reporting Initiative.
- Hobbs, J. E. (2020). Food supply chains during the COVID-19 pandemic. Canadian Journal of Agricultural Economics, *68*(2), 171–176. https://doi.org/10.1111/cjag.12237
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics, *4*(1), 1–23. https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245
- Hsieh, H. F., & Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. Qualitative Health Research, *15*(9), 1277–1288. https://doi.org/10.1177/1049732305276687
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). Viability of intertwined supply networks: Extending the supply chain resilience angles towards survivability. A position paper motivated

by COVID-19 outbreak. International Journal of Production Research, *58*(10), 2904–2915. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1750727

- Jagtap, S., Trollman, H., Trollman, F., Garcia-Garcia, G., Parra-López, C., Duong, L., ... & Martindale, W. (2022). The Russia-Ukraine conflict: Its implications for the global food supply chains. Foods, *11*(14), 2098. https://doi.org/10.3390/foods11142098
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). The balanced scorecard: Translating strategy into action. Harvard Business School Press.
- Lee, H. L., Padmanabhan, V., & Whang, S. (1997). Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect. Management Science, *43*(4), 546–558. https://doi.org/10.1287/mnsc.43.4.546
- Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M., & Uysal, I. (2017). Time–temperature management along the food cold chain: A review of recent developments. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, *16*(4), 647–667. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12269
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). Qualitative data analysis: An expanded sourcebook (2nd ed.). Sage Publications.
- Nahmias, S. (2011). Perishable inventory systems. Springer.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, *372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71
- Pettit, T. J., Croxton, K. L., & Fiksel, J. (2019). The evolution of resilience in supply chain management: A retrospective on ensuring supply chain resilience. Journal of Business Logistics, *40*(1), 56–65. https://doi.org/10.1111/jbl.12202
- Ponomarov, S. Y., & Holcomb, M. C. (2009). Understanding the concept of supply chain resilience. The International Journal of Logistics Management, *20*(1), 124–143. https://doi.org/10.1108/09574090910954873
- Rong, A., Akkerman, R., & Grunow, M. (2011). An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain. International Journal of Production Economics, *131*(1), 421–429. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.11.026
- Scholten, K., Stevenson, M., & van Donk, D. P. (2020). Building routines for supply chain resilience: A process perspective. Journal of Supply Chain Management, *56*(3), 3–23. https://doi.org/10.1111/jscm.12224
- Sheffi, Y. (2005). The resilient enterprise: Overcoming vulnerability for competitive advantage. MIT Press.
- Tukamuhabwa, B. R., Stevenson, M., Busby, J., & Zorzini, M. (2015). Supply chain resilience: Definition, review and theoretical foundations for further study. International Journal of Production Research, *53*(18), 5592–5623. https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1037934
- van der Vorst, J. G. A. J., Tromp, S. O., & van der Zee, D. J. (2009). Simulation modelling for food supply chain redesign: Integrated decision making on product quality, sustainability and logistics. International Journal of Production Research, *47*(23), 6611–6631. https://doi.org/10.1080/00207540802356747
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems. Ecology and Society, *9*(2), 5. http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/
- Wang, S., Tao, F., & Shi, Y. (2018). Optimization of location–routing problem for cold chain logistics considering carbon footprint. International Journal of Environmental Research and Public Health, *15*(1), 86. https://doi.org/10.3390/ijerph15010086

- Wang, X., & Li, D. (2012). A dynamic product quality evaluation based pricing model for perishable food supply chains. Omega, *40*(6), 906–917. https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.02.001
- WFP. (2023). The state of food security and nutrition in the world 2023. World Food Programme.
- Wieland, A., & Wallenburg, C. M. (2013). The influence of relational competencies on supply chain resilience: A relational view. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, *43*(4), 300–320. https://doi.org/10.1108/IJPDLM-08-2012-0243