طراحی مجدد شبکه و برنامه‌ریزی زنجیره تأمین محصولات غذایی با لحاظ کردن امنیت غذایی و جریان‌های مالی

محمدامین شالچی طوسی (نویسنده مسئول)
دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه علم وصنعت ایران – تهران
shalchi@ind.iust.ac.ir

فهیمه پورمحمدی

میرسامان پیشوایی
استادیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه علم وصنعت ایران- تهران
pishvaee @ iust.ac.ir

چکیده

رشد جمعیت و مصرف در قرن اخیر، نیاز جهانی به غذا را به شدت افزایش داده است، لذا مسئله‌ی امنیت غذایی به عنوان یکی از موضوعات استراتژیک هر کشور از اهمیت روزافزونی برخوردار شده است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهند علی‌رغم اینکه بیش از چهل سال از طرح مفهوم امنیت غذایی می‌گذرد، ابعاد مختلف آن هنوز به مدل-های تحقیق در عملیات وارد نشده‌اند. پژوهش حاضر برای نخستین بار به ارائه‌ی مدلی برای طراحی مجدد شبکه و برنامه‌ریزی زنجیره تأمین محصولات غذایی با لحاظ کردن ابعاد امنیت غذایی به صورت مستقیم می‌پردازد. زنجیره‌ی تأمین مورد نظر شامل سه سطح تأمین‌کنندگان، مراکز توزیع و نواحی جمعیتی است. مدل ارائه شده یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی است که علاوه بر تصمیم‌گیری در مورد توسعه‌ی ظرفیتی مراکز توزیع، انتخاب تأمین‌کننده، تخصیص مراکز توزیع به تأمین‌کننده‌ها و مشتریان به مراکز توزیع و جریان فیزیکی مواد غذایی در شبکه، قیمت نهایی مواد غذایی را نیز کنترل می‌کند. همچنین علاوه بر جریان فیزیکی، جریان مالی شبکه نیز در نظر گرفته شده است. مدل پس از خطی سازی با استفاده از نرم‌افزار گمز و سالور سیپلکس حل شده و در پایان یک مثال عددی برای نمایش کاربرد مدل ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند با کنترل سطوح قیمت در انتهای زنجیره تأمین، بحث دستیابی و قابل خریداری بودن مواد غذایی مورد نیاز برای مشتریان به عنوان یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های امنیت غذایی برآورده می‌شود.

کلید واژه:
زنجیره تأمین محصولات غذایی؛ امنیت غذایی؛ طراحی مجدد شبکه؛ انتخاب تأمین‌کننده؛ جریان‌های مالی زنجیره تأمین.

مقدمه

مفهوم امنیت غذایی اولین بار در سال ۱۹۷٤ در کنفرانس جهانی غذا در رم مطرح شد. بر اساس تعریف سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (فائو) در سال ۲۰۰۹، امنیت غذایی هنگامی وجود دارد که همه‌ی مردم، در همه‌ی اوقات، دستیابی فیزیکی و اقتصادی به غذای کافی، ایمن و مغذی که نیازها و ترجیحات رژیم غذایی آن‌ها را برای یک زندگی فعال و سلامت برآورده می‌کند، داشته باشند. وضعیت امنیت غذایی در هر کشوری، می‌تواند به عنوان خروجی اصلی سیستم‌های غذایی مربوط به آن کشور در نظر گرفته شود. اگرچه افزایش کارایی و بهره‌وری سیستم‌های مواد غذایی موجب کاهش بروز پدیده‌ی گرسنگی و بهبود وضعیت تغذیه‌ی افراد شده است اما این موفقیت با نگرانی‌هایی جدی در مورد جوانب گوناگون سیستم‌های غذایی نظیر عدم تعادل در رژیم غذایی روزانه‌ی افراد و غیره روبروست که می‌توانند اهداف اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی و نتیجتاً امنیت غذایی را تهدید کنند [1]. برخی شاخص‌های معتبر جهانی، سه معیار اصلی را برای سنجش میزان امنیت غذایی کشورها مد نظر قرار می‌دهند که شامل: ۱- در دسترس بودن (accessibility) ۲- توانایی مالی برای تهیه

کردن (affordability) و ۳- کیفیت و ایمنی (qulaity) است. البته هر یک از این معیارهای اصلی دارای چندین زیرمعیار نیز می‌باشند [2]. سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد نیز به عنوان کامل‌ترین تقسیم‌بندی، چهار رکن اساسی امنیت غذایی را در دسترس بودن، قابلیت دستیابی (از جهات فیزیکی و اقتصادی)، قابلیت به کارگیری (بهره‌برداری) و ثبات (پایداری) بیان می‌کند.

رویکردهای مدل‌سازی کمّی در مدیریت زنجیره‌ی تأمین کابردهای فراوانی را داشته‌اند. به طور خاص تحقیق در عملیات نیز به طور گسترده‌ای مورد استفاده‌ی پژوهشگران بوده است. این ابزار از اواخر دهه‌ی ۱۹۴۰ میلادی در حوزه‌ی کشاورزی و غذایی نیز به کارگرفته شده است و هم اکنون ادبیاتی غنی دارد [3]. اما در ادبیات موضوع هیچ پژوهشی وجود ندارد که مستقیماً به مدلسازی کمّی ماژول‌های امنیت غذایی و طراحی و برنامه‌ریزی شبکه مبتنی بر آن‌ها پرداخته باشد.

در این مقاله طراحی مجدد و برنامه‌ریزی یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین مواد غذایی از دیدگاه امنیت غذایی مد نظر است. بدین منظور تصمیمات مربوط به توسعه‌ی ظرفیتی، انتخاب تأمین‌کننده، تخصیص و کنترل جریان مواد غذایی در طول زنجیره به نحوی بهینه‌سازی خواهند شد که ارکان اصلی شاخص امنیت غذایی برآورده گردند. همچنین در ادامه، محدودیت‌های مربوط به جریان مالی نیز به مدل توسعه داده شده اضافه می‌شوند تا علاوه بر جریان فیزیکی، جریان مالی زنجیره نیز بهینه گردد.

ادامه‌ی پژوهش حاضر به این صورت سازماندهی شده است: در بخش بعدی به مرور ادبیات مدل‌های تحقیق در عملیات در زنجیره تأمین محصولات غذایی و امنیت غذایی پرداخته خواهد شد. در بخش سوم پس از بیان مسئله و مفروضات آن، دو مدل برای طراحی و برنامه‌ریزی مجدد زنجیره تأمین محصولات غذایی براساس ابعاد امنیت غذایی ارائه خواهد شد: مدل اول صرفاً جریان فیزیکی زنجیره و مدل دوم جریان فیزیکی و مالی زنجیره را در نظر می‌گیرد. بخش چهارم به حل مدل‌ها و ارائه‌ی یک مثال عددی اختصاص دارد تا کاربرد عملی مدل پیشنهادی و تأثیر در نظر گرفتن محدودیت‌های مالی به نمایش درآید. در بخش پنجم نیز به جمع بندی و بررسی فرصت‌های پژوهشی آتی می‌پردازیم.

۱. مبانی و پیشینه‌ی پژوهش

زنجیره تأمین محصولات غذایی شامل فعالیت‌هایی از جمله تولید، توزیع، فرآوری و بازاریابی است که محصولات غذایی را سر میز می‌آورند. تفاوت زنجیره تأمین محصولات غذایی با سایر زنجیره‌ها در اهمیت کیفیت، فسادپذیری، تنوع تقاضا، قیمت و غیره است [4]. زنجیره تأمین محصولات غذایی مورد توجه پژوهشگران بسیاری بوده است [5]. همچنین چندین مقاله‌ی مروری در این زمینه نوشته شده است. گلن در [6] مدل‌های تولید محصولات زراعی و دام را تا سال ۱۹۸۵ بررسی کرده‌است. لوکاس و چاجد در [7] مدل‌های مکان یابی زمین کشاورزی و تسهیلات ذخیره‌سازی محصولات کشاورزی را بررسی کرده‌اند. اومادا و ویلالوبوس در [4] مدل‌های برنامه‌ریزی را از تولید تا توزیع در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی غذایی بررسی کرده‌اند. ایشان ابتدا در یک دسته‌بندی کلی، مقالات موجود در زمینه زنجیره تأمین محصولات کشاورزی غذایی را به دو دسته‌ی فسادپذیر و غیرفسادپذیر تقسیم کرده‌اند. محصولات کشاورزی غذایی تازه و فسادپذیر شامل میوه‌ها و سبزیجات و محصولات کشاورزی غذایی غیرفسادپذیر شامل غلات، بعضی محصولات نظیر سیب زمینی و دانه‌ها هستند. سپس مقالات سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۷ را با توجه به افق برنامه‌ریزی، مطالعه‌ی موردی و فعالیت‌های زنجیره تأمین بررسی کرده‌اند. افق برنامه‌ریزی در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی غذایی می‌تواند استراتژیک، تاکتیکال یا عملیاتی باشد. همچنین عمده‌ی فعالیت‌های زنجیره تأمین محصولات کشاورزی تولید، برداشت، ذخیره‌سازی و توزیع هستند. مرجع [8] مدیریت زنجیره تأمین محصولات (کشاورزی) تازه شامل میوه‌ها، سبزیجات و گل را از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۹ بررسی کرده‌است. سولاکیس و همکاران در [9] ابتدا کلیه‌ی تصمیمات استراتژیک، تاکتیکال و عملیاتی در مدیریت زنجیره تأمین محصولات کشاورزی غذایی را معرفی و سپس مقالات مرتبط به هر تصمیم را از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۳ مشخص کرده‌اند. همچنین مرجع [10] برنامه‌ریزی کشت، فرآوری و کنترل موجودی محصولات کشاورزی را در مقالات سال‌های ۱۹۹۱تا ۲۰۱۵ بررسی کرده‌است. ماهاجان و همکاران در [11] ادبیات مرتبط با زنجیره تأمین محصولات غذایی فرآوری شده را از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۲ بررسی کرده‌اند. بِگ و همکاران نیز در [12] ادبیات مرتبط با زنجیره تأمین کاکائو را بررسی کرده‌اند. بسکه و همکارانش در [13] یک مقاله‌ی مروری با تمرکز بر صنایع غذایی ارائه نمودند. به علاوه رویکردهای کمّی تحقیق در عملیات برای مدیریت توزیع غذا توسط اکرمن و همکارانش در [14] بررسی شده‌اند. بورودین و همکارانش در [15] نیز به مرور روش‌های غیرقطعی در مدیریت زنجیره‌ی تأمین کشاورزی پرداخته‌اند.

در ادامه‌ی این بخش ادبیات موضوع را از سه منظر طراحی شبکه‌ی توزیع مواد غذایی (در سطح استراتژیک)، برنامه‌ریزی شبکه‌ی توزیع مواد غذایی (در سطح تاکتیکال) و نیز مقالاتی که سعی در مدل‌سازی کمّی امنیت غذایی داشته‌اند، بررسی خواهیم کرد.

۱.۱. طراحی شبکه‌ی توزیع مواد غذایی

هدف این مقالات اتخاذ تصمیمات بلندمدت در خصوص ساختار توزیع فیزیکی محصولات برای یک شبکه‌ی جدید و یا بازطراحی یک شبکه‌ی موجود است. تصمیمات اصلی این قبیل مدل‌ها شامل مکان‌یابی تسهیلات و چگونگی تخصیص مشتریان به تسهیلات و نیز تسهیلات به یکدیگر در مورد زنجیره‌های تأمین چند سطحی است ([16] و [17]). جدول (۱) مرور مقالات اخیر متمرکز بر این تصمیمات را نشان می‌دهد.

جدول (۱)- مطالعات اخیر طراحی شبکه‌ی توزیع مواد غذایی

مرجع	محصول	سیستم	روش برنامه‌ریزی و تحلیل	ویژگی‌ها
[18]	محصولات تازه	کالاها در دمای محیط/سرد	تحلیلی/تحلیل سناریو	کاهش ارزش کالا طی زمان، تمرکز روی روش‌های مختلف حمل و نقل
[19]	محصولات پالتی	خرده‌فروشی	ابتکاری	مطالعه‌ی لایه‌های هاب اضافی بین تولیدکنندگان و مراکز توزیع و خرده‌فروشی
[20]	توت‌های وحشی	کالاهای منجمد	ابتکاری	تحلیل میزان بار–فاصله، انبارهای منجمد برای کالاهای فصلی
[21]	پاستا	خرده‌فروشی	شبیه‌سازی	تحلیل موقعیت‌های مختلف برای تقاضا (در ارتباط با اثر شلاقی)
[22]	آناناس	خرده‌فروشی، کالاهای سرد	شبیه‌سازی	مدل‌سازی صریح تنزل کیفیت و ملاحظات پایداری
[23]	لبنیات	خرده‌فروشی	برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی	در نظر گرفتن جریان محصولات جانبی
[24]	نامشخص	خرده‌فروشی، کالاهای سرد و منجمد	فراابتکاری (جست و جوی ممنوع)	مدل‌سازی صریح تنزل کیفیت

اغلب مدل‌ها در ادبیات موضوع به صورت تک‌لایه و تک‌محصولی بوده‌اند که در مدل پیشنهادی این مقاله به صورت سه‌سطحی و چند محصولی توسعه پیدا کرده است.

۲.۱. برنامه‌ریزی شبکه‌ی توزیع مواد غذایی

در اینجا تصمیمات میان‌مدت مربوط به ارضای تقاضا و پیش‌بینی آن مد نظر است. در حقیقت افزایش کارایی در مدیریت توزیع به عنوان یک سیستم یکپارچه هدف اصلی این پژوهش‌هاست که موارد اخیر آن در ادامه معرفی شده است.

جدول (۲) - مطالعات اخیر برنامه‌ریزی شبکه‌ی توزیع مواد غذایی

مرجع	محصول	سیستم	روش برنامه‌ریزی و تحلیل	ویژگی‌ها
[25]	محصولات تازه‌ی بسته‌بندی شده	نامشخص	برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی	کاهش کیفیت کالا طی زمان، انتخاب روش‌های مختلف حمل و نقل، برنامه‌ریزی کشت محصول
[26]	آب‌میوه و نوشیدنی‌های غیرالکلی	خرده‌فروشی	برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی	مدلسازی تقاضا در مراکز توزیع، تأکید روی برنامه‌ریزی تولید، برنامه‌ریزی وسایل نقلیه‌ی مورد نیاز روزانه
[27]	حبوبات	خرده‌فروشی	برنامه‌ریزی خطی	قابلیت استفاده برای مقیاس‌های زمانی مختلف، برنامه ریزی جدداگانه‌ی تولید و بسته‌بندی
[28]	محصولات زوال‌پذیر	خرده‌فروشی	برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی	مدلسازی زوال‌پذیری بر اساس حداکثر تعداد بازه‌های زمانی موجودی
[29]	شکر	نامشخص	برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی/ابتکاری	تخصیص کشتی‌ها به بنادر (مراکز توزیع)، هزینه‌ها و قابلیت‌های مختلف برای کارخانه‌های شکر

[30]	شکر	خرده‌فروشی	برنامه‌ریزی خطی	لحاظ کردن روش‌های مختلف بسته‌بندی، انعطاف‌پذیری شبکه شامل تحویل مستقیم و انتقال مجدد
[31]	فلفل دلمه‌ای	خرده‌فروشی، کالاهای سرد	برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی	مدلسازی صریح تنزل کیفیت و تصمیم‌گیری برای سطوح دما

این مدل‌ها نیز بیشتر تک‌محصولی بوده و صرفاً روی تصمیمات تاکتیکال تمرکز دارند. از این جهت جامعیت مدل پیشنهادی این مقاله را نخواهند داشت.

۳.۱. امنیت غذایی و رویکردهای کمی تحقیق در عملیات

در این زمینه ادبیات موضوع دارای شکاف‌های فراوانی است. شوییگمن و همکارانش در [32] بحث‌هایی را در مورد کاربرد تحقیق در عملیات به عنوان ابزاری برای تحلیل مسائل امنیت غذایی در کشورهای در حال توسعه مطرح کردند. اما تحقیق آن‌ها صرفاً به بررسی دو موضوع مدیریت ریسک کمبود غذا و مدل‌های بارش-محصول برای پیش‌بینی کمبود پرداخته و عملاً اشاره‌ای مستقیم به ابعاد امنیت غذایی نداشت. شوییگمن در [33] نیز سعی در به کارگیری رویکردهای تحقیق در عملیات با هدف تأمین امنیت غذایی داشت اما مدل‌های او به ارائه‌ی پیشهاداتی برای بهینه‌سازی کشت، مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین و مواجهه با عدم قطعیت در بارش پرداختند و باز هم توجه صریحی به ارکان امنیت غذایی نداشتند.

در سال‌های اخیر نیز با بررسی پیشینه‌ی تحقیق دو پژوهش دیگر به چشم می‌خورد. کرجسی و بیمون در [34] مفصلاً به طراحی ساختاری زنجیره‌ی تأمین غذا با ملاحظات زیست‌محیطی و نیز پشتیبانی امنیت غذایی پرداختند. آن‌ها برای شبکه‌ها با میزان تقاضاهای مختلف، ساختاری متفاوت و متناسب مخصوص خودشان پیشنهاد کردند. برودینا و همکارانش در [35] ادعا کرده‌اند که از رویکردهای کمّی برای مدل‌سازی با هدف مدیریت ریسک، پایداری کشاورزی و تأمین امنیت غذایی استفاده کرده‌اند. اما در بخش امنیت غذایی صرفاً محدودیت ارضای تقاضا را بدین منظور لحاظ کرده‌اند. بنابراین می‌توان گفت که در ادبیات موضوع هیچ پژوهشی وجود ندارد که مستقیماً به مدلسازی کمّی ماژول‌های امنیت غذایی و طراحی و برنامه‌ریزی شبکه مبتنی بر آن‌ها پرداخته باشد.

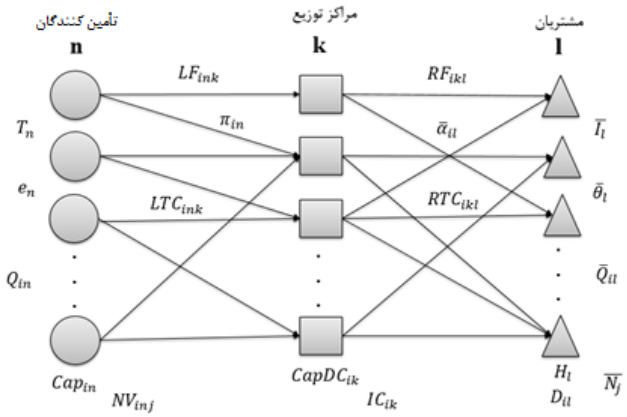
در قسمت بعد با پوشش این شکاف تحقیقاتی، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی توسعه یافته برای تحلیل امنیت غذایی و اتخاذ تصمیمات استراتژیک طراحی شبکه و تاکتیکال برنامه‌ریزی شبکه معرفی می‌گردد. بدین منظور دو مدل ارائه خواهد شد: مدل اول بدون لحاظ کردن جریان مالی و مدل دوم با لحاظ کردن جریان مالی. لانگینیدیس و جورجیادیس در [36] و [37] به ارائه‌ی دو مقاله با لحاظ کردن جریان مالی و کنترل عملکرد مالی زنجیره پرداختند. برقراری معادله‌ی معروف حسابداری یعنی برابری دارایی‌ها با جمع حقوق صاحبان سهام و بدهی‌ها در هر دوره مبنای چینش معادلات جریان مالی بوده است. آن‌ها اگرچه در مقاله‌ی دوم سعی بر رفع ایرادات مقاله‌ی اولیه داشتند اما این موازنه به طور کامل برقرار نشد و عبارت استهلاک در سمت دارایی‌ها بلاتکلیف باقی ماند.

در این پژوهش ضمن لحاظ کردن جریان مالی و ترکیب آن با جریان فیزیکی در طول شبکه، با بازتعریف معادلات مربوط به حسابداری موفق به برقراری دقیق توازن در طرفین معادله‌ی معروف حسابداری شده‌ایم. تغییر اصلی نسبت به معادلات مرجع [37]، در نظر گرفتن عبارت استهلاک در معادله‌ی حقوق صاحبان سهام به جای معادله‌ی درآمد پیش از کسر بهره و مالیات است. که منطق آن نیز روشن است زیرا استهلاک یک هزینه‌ی غیرملموس بوده و نبایستی برای محاسبه‌ی درآمد ناخالص، همانند سایر هزینه‌های پولی از میزان فروش کسر شود. در حقیقت با لحاظ کردن عبارت استهلاک در ارزش دارایی‌های ثابت دوره‌ی زمانی، از ارزش سهام و حقوق صاحبان آن کاسته می‌شود. در نهایت با تعیین حدود بالا یا پایین برای نسبت‌های مالی زنجیره در طول دوره، اقدام به کنترل عملکرد شبکه به جهت سودآوری و پایداری هرچه بیشتر نموده‌ایم.

۳.۲. مدل‌های ریاضی

شبکه‌ی زنجیره تأمین محصولات غذایی در پژوهش حاضر، مطابق شکل زیر، شامل سه سطح تأمین‌کنندگان (داخلی و خارجی)، مراکز توزیع و مشتریان است. هدف، طراحی مجدد شبکه با در نظر گرفتن امکان توسعه‌ی ظرفیتی مراکز توزیع، انتخاب تأمین‌کننده، تخصیص

مراکز توزیع به تأمین‌کنندگان و مشتریان به مراکز توزیع و تعیین جریان فیزیکی بهینه‌ی زنجیره با توجه به ابعاد مختلف امنیت غذایی است. فرض شده است توسعه‌ی ظرفیتی در ابتدای دوره‌ی برنامه‌ریزی انجام می‌شود.



شکل (۱)- شبکه‌ی زنجیره تأمین محصولات غذایی در پژوهش حاضر

سایر مفروضات مدل به شرح زیر است:

۱. تأمین‌کنندگان محصولات می‌توانند خارجی باشند که در این صورت خرید از آن‌ها شامل هزینه‌های تعرفه‌ی گمرکی واردات و نرخ تبدیل ارز خواهد بود.
۲. جریان در شبکه صرفاً به صورت طولی ممکن است و تبادل تأمین کنندگان با هم و نیز توزیع‌کنندگان با خودشان امکان‌پذیر نیست. همچنین امکان فروش مستقیم و حمل‌ونقل از تأمین‌کنندگان به مصرف‌کنندگان وجود ندارد.
۳. تخصیص مراکز توزیع به تأمین‌کنندگان به صورت تک‌منبعی است اما برای تخصیص مشتریان به مراکز توزیع، محدودیتی وجود ندارد.
٤. مدل به صورت چندمحصولی و چند دوره‌ای در نظر گرفته شده است.
٥. چنانچه تأمین‌کننده‌ای یک محصول را با روش‌های گوناگون تولید می‌نماید که نتیجتاً دارای ویژگی‌های مختلفی چه از نظر کیفیت و چه از نظر قیمت باشد، برای آن یک تأمین کننده‌ی جداگانه در مدل در نظر گرفته می‌شود.
٦. حداکثر حاشیه‌ی سود در طول زنجیره‌ی تأمین مشخص است و قیمت نهایی محصولات برای مصرف‌کنندگان با توجه به این محدودیت و نیز محدودیت قابل تهیه بودن و دستیابی، توسط مدل تعیین می‌گردد.
۷. تقاضای تمامی مناطق مشتریان برای همه‌ی مواد غذایی می‌بایست کاملاً برآورده شود، یعنی کمبود مجاز نیست.
۸. هر سه مؤلفه‌ی اصلی امنیت غذایی شامل در دسترس بودن، توانایی مالی برای تهیه و بهره‌برداری (کیفیت و ایمنی) می‌بایست برآورده شود.
۹. برای تأمین محدودیت در دسترس بودن، میزان مواد مغذی موجود در مواد غذایی معیار عملکرد شبکه خواهد بود.

۱.۲. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم به کار رفته در مدل

اندیس‌ها:

i نوع محصول (گندم، برنج، گوشت، لبنیات، میوه‌جات)
j نوع ماده‌ی مغذی (ویتامین، پروتئین، مواد معدنی)
n تأمین‌کنندگان (می‌توانند داخلی یا خارجی باشند)
k مراکز توزیع
c سطوح ظرفیتی مختلف برای توسعه‌ی مراکز توزیع

l منطقه‌ی تقاضای مشتریان یا نواحی جمعیتی (جنوب، شرق، غرب، مرکز، شمال)

t دوره‌ی زمانی (سال)

پارامترها:

π_{in}^{t} قیمت خرید محصول i در دوره‌ی t از تأمین‌کننده‌ی n که می‌تواند خارجی باشد

Cap_{in} ظرفیت تأمین‌کننده‌ی n از محصول نوع i

$CapDC_{ik}$ ظرفیت مرکز توزیع k برای محصول نوع i

$Capl_{ick}$ ظرفیت قابل توسعه با سطح c در مرکز توزیع k برای محصول نوع i

ICR_{ik}^{t} هزینه‌ی نگهداری هر واحد از محصول i در مرکز توزیع k در دوره‌ی t

LTC_{ink}^{t} هزینه‌ی حمل یک واحد از محصول i از تأمین‌کننده‌ی n به مرکز توزیع k در دوره‌ی t

RTC_{ikl}^{t} هزینه‌ی حمل یک واحد از محصول i از مرکز توزیع k به منطقه‌ی مشتریان l در دوره‌ی t

TT_{n}^{t} مجموع درصد تعرفه واردات و مالیات بر ارزش افزوده‌ی واردات و عوارض گمرکی و بیمه‌ی حمل از تأمین‌کننده‌ی n در دوره‌ی t (که در صورت داخلی بودن تأمین‌کننده، صفر است)

OC_{ick} هزینه‌ی توسعه‌ی ظرفیت مرکز توزیع k برای محصول i به مقداری برابر با سطح ظرفیتی c

ex_{n}^{t} نرخ تبدیل واحد ارز تأمین‌کننده‌ی n به واحد پولی پایه در دوره‌ی t

D_{il}^{t} تقاضای سرانه در منطقه‌ی l از محصول نوع i در دوره‌ی t

NV_{ij} میزان ارزش غذایی موجود از ماده‌ی مغذی j در یک واحد از محصول i

$\overline{N_{j}}$ میانگین میزان مورد نیاز از ماده‌ی مغذی j برای هر نفر (در طول بازه‌ی زمانی حل مسئله)

H_{l}^{t} جمعیت در منطقه‌ی مشتریان l در دوره‌ی t

$\overline{I_{l}^{t}}$ میانگین درآمد سرانه‌ی افراد در منطقه‌ی مشتریان l در دوره‌ی t

$\overline{\theta_{l}}$ میانگین سهم سبد مواد غذایی از درآمد خانوار در منطقه‌ی مشتریان l

Q_{in} شاخص کیفیت (ایمنی) محصول نوع i مربوط به تأمین‌کننده‌ی n در دوره‌ی t

$\overline{Q_{il}}$ شاخص میانگین کیفیت (ایمنی) مورد قبول برای محصول نوع i در منطقه‌ی مشتریان l

$\overline{\alpha_{il}}$ میانگین حاشیه‌ی سود زنجیره تأمین برای محصول i در منطقه‌ی مشتریان l

M عدد بزرگ

متغیرهای تصمیم:

LF_{ink}^{t} میزان جریان محصول نوع i از تأمین‌کننده‌ی n به مرکز توزیع k در دوره‌ی t

RF_{ikl}^{t} میزان جریان محصول نوع i از مرکز توزیع k به منطقه‌ی مشتریان l در دوره‌ی t

TC^{t} مجموع هزینه‌های شبکه در دوره‌ی t

INV_{ik}^{t} سطح موجودی محصول i مربوط در مرکز توزیع در محل k در انتهای دوره‌ی t

IC_{ik}^{t} کل هزینه‌ی نگهداری محصول i در مرکز توزیع k در دوره‌ی t

$Incr_{ick}$ متغیر صفر و یک توسعه‌ی ظرفیت مرکز توزیع k به میزان سطح ظرفیتی c برای محصول i

LY_{ink}^{t} متغیر صفر و یک تخصیص مرکز توزیع k به تأمین‌کننده‌ی n در دوره‌ی t

RY_{ikl}^{t} متغیر صفر و یک تخصیص منطقه‌ی مشتریان l به مرکز توزیع k در دوره‌ی t

QDC_{ik}^{t} شاخص کیفیت (ایمنی) محصول نوع i انبارشده در توزیع‌کننده‌ی k در دوره‌ی t

سه متغیر توضیحی $BasketPrice_l^t$، $Nutrition_{jl}^t$ و $QualityLevel_{il}^t$ نیز صرفاً برای گرفتن خروجی و اطلاع از وضعیت مقادیر آن‌ها در پاسخ بهینه تعریف شده‌اند و به ترتیب میزان قیمت سبد مواد غذایی، میزان هر ماده‌ی مغذی و سطح کیفیت هر یک از محصولات را در هر منطقه از مشتریان نشان می‌دهند.

۲.۲. مدل مکان‌یابی-تخصیص بدون جریان‌های مالی

تابع هدف و محدودیت‌های مدل با لحاظ کردن امنیت غذایی و بدون در نظر گرفتن جریان‌های مالی به شرح زیر است:

$$\min Z = \sum_t TC^t = \sum_t \sum_k \left[\sum_i \sum_c Incr_{ick} * OC_{ick} + \sum_i \sum_n LF_{ink}^t * \left(\pi_{in}^t * ex_n^t * (1 + TT_n^t)\right) + \sum_i \sum_n LF_{ink}^t * LTC_{ink}^t + \sum_i \sum_k RF_{ikl}^t * RTC_{ikl}^t + \sum_i IC_{ik}^t\right] \quad (۱)$$

$s.t.$:

$$INV_{ik}^t \le CapDC_{ik} + \sum_c Capl_{ick} * Incr_{ick} \quad \forall i.k.t \quad (۲)$$

$$\sum_c Incr_{ick} \le 1 \quad \forall i,k \quad (۳)$$

$$INV_{ik}^t = INV_{ik}^{t-1} + \sum_n LF_{ink}^t - \sum_l RF_{ikl}^t \quad i = wheat, rice. \forall k.t \quad (۴)$$

$$IC_{ik}^t = \frac{INV_{ik}^t + INV_{ik}^{t-1}}{2} * ICR_{ik}^t \quad i = wheat, rice. \forall k.t \quad (۵)$$

$$INV_{ik}^t = \sum_n LF_{ink}^t - \sum_l RF_{ikl}^t \quad i = meat, dairy, fruit. \forall k.t \quad (۶)$$

$$IC_{ik}^t = \frac{INV_{ik}^t}{2} * ICR_{ik}^t \quad i = meat, dairy, fruit. \forall k.t \quad (۷)$$

$$\sum_i \sum_k NV_{ij} * RF_{ikl}^t \ge H_l^t * \overline{N_j} \quad \forall j.l.t \quad (۸)$$

$$PDC_{ik}^t = \sum_n \left(\left(\left(\pi_{in}^t * ex_n^t * (1 + TT_n^t)\right) + LTC_{ink}^t\right) * LY_{ink}^t\right) \quad \forall i.k.t \quad (۹)$$

$$(\sum_i \sum_k (PDC_{ik}^t * RF_{ikl}^t + RTC_{ikl}^t * RF_{ikl}^t)) * (1 + \overline{\alpha}_{il}) \le H_l^t * \overline{\theta}_l * \overline{I_l^t} \quad \forall l.t \quad (۱۰)$$

$$QDC_{ik}^t = \sum_n Q_{in} * LY_{ink}^t \quad \forall i.k.t \quad (۱۱)$$

$$QDC_{ik}^t * RY_{ikl}^t \ge \overline{Q}_{il} * RY_{ikl}^t \quad \forall i.k.l.t \quad (۱۲)$$

$$\sum_k LF_{ink}^t \le Cap_{in} \quad \forall i.n.t \quad (۱۳)$$

$$\sum_k RF_{ikl}^t \ge D_{il}^t * H_l^t \quad \forall i.l.t \quad (۱۴)$$

$$BasketPrice_l^t = (\sum_i \sum_k [PDC_{ik}^t * RF_{ikl}^t + RTC_{ikl}^t * RF_{ikl}^t]) * (1 + \overline{\alpha}_{il}) / H_l^t \quad \forall l.t \quad (۱۵)$$

$$Nutrition_{jl}^t = \sum_i \sum_k NV_{ij} * RF_{ikl}^t / H_l^t \quad \forall l.j.t \quad (۱۶)$$

$$QualityLevel_{il}^t = \sum_k RF_{ikl}^t * QDC_{ik}^t / (D_{il}^t * H_l^t) \quad \forall i.l.t \quad (۱۷)$$

$$LY_{ink}^t \le LF_{ink}^t \le M * LY_{ink}^t \quad \forall i.n.k.t \quad (۱۸)$$

$$\sum_n LY_{ink}^t \le 1 \quad \forall i.k.t \quad (۱۹)$$

$$RY_{ikl}^t \le RF_{ikl}^t \le M * RY_{ikl}^t \quad \forall i.k.l.t \quad (۲۰)$$

$$TC^t, LF_{ink}^t, RF_{ikl}^t, INV_{ik}^t, IC_{ik}^t, QDC_{ik}^t \ge 0, Opening_k, LY_{ink}^t, RY_{ikl}^t = \{0, 1\} \quad (۲۱)$$

فرمول (۱)، تابع هدف است که در آن عبارت اول مربوط به هزینه‌ی توسعه‌ی ظرفیت مراکز توزیع و عبارت‌های بعدی مجموع هزینه‌های خرید محصولات از تأمین‌کنندگان داخلی و خارجی و هزینه‌های حمل و نقل در طول شبکه و هزینه‌ی نگهداری موجودی کالا در مراکز توزیع است. همانطور که پیشتر بیان شد هدف مسئله کمینه‌سازی این هزینه‌ها در کل شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین است. محدودیت‌های (۲) و (۳)، محدودیت‌های مربوط به ظرفیت مراکز توزیع هستند که تضمین می‌کنند موجودی مرکز از ظرفیت آن تجاوز نکند. همچنین فقط یک سطح ظرفیتی برای توسعه‌ی ظرفیت انتخاب شود. محدودیت‌های (٤) و (٦) مربوط به موجودی محصولات در مراکز توزیع در انتهای هر دوره هستند و تعادل جریان را برقرار می‌کنند. از آنجایی که گندم و برنج را می‌توان به مدت دو تا سه سال نگهداری کرد، فرض شده است موجودی انتهای دوره‌ی قبل، به دوره‌ی بعد منتقل می‌شود. محدودیت‌های (٥) و (٧) هزینه‌های نگهداری موجودی را محاسبه می‌کنند. محدودیت (٨) بعد اول امنیت غذایی یعنی در دسترس بودن را تعریف می‌کند. این محدودیت تضمین می‌کند که به اندازه‌ی مورد نیاز از هر ماده‌ی مغذی در هر منطقه، به آن منطقه ارسال گردد. محدودیت‌های (۹) و (۱۰) بعد دوم امنیت غذایی، یعنی توانایی مالی برای

تهیه‌ی غذا را تعریف می‌کنند. این محدودیت تضمین می‌کند که مجموع هزینه‌ی تأمین محصولات در هر منطقه، حداکثر به اندازه‌ی میانگین درآمد تخصیص‌یافته‌ی افراد به خرید مواد غذایی در آن منطقه باشد. محدودیت (۱۱) و (۱۲)، بعد سوم امنیت غذایی یعنی کیفیت و ایمنی را تعریف می‌کنند. این محدودیت بیان می‌کند که میزان کیفیت متوسط هر نوع از محصولات در هر منطقه حداقل به میزان کیفیت و ایمنی قابل قبول برای همان محصول در همان منطقه باشد. محدودیت (۱۳) مربوط به محدودیت ظرفیت تأمین‌کنندگان است. محدودیت (۱٤) ارضای تقاضای نواحی جمعیتی را تضمین نمی‌نماید. محدودیت‌های (۱۵) تا (۱۷) قیمت سبد محصولات، ارزش غذایی و متوسط سطح کیفیت محصولات ارسال شده به مناطق جمعیتی را محاسبه می‌کنند. محدودیت‌های (۱۸) و (۲۰) محدودیت‌های مربوط به متغیرهای باینری جریان‌های سمت چپ و سمت راست زنجیره هستند. محدودیت (۱۹) تک منبعی بودن مراکز توزیع را تضمین می‌کند. محدودیت (۲۱) متغیرهای مثبت و باینری مدل را مشخص می‌کند.

محدودیت‌های (۱۰) و (۱۲)، مدل را غیرخطی می‌کنند. برای خطی سازی مدل، دو متغیر پیوسته‌ی $x^t_{inkl} = LY^t_{ink} * RF^t_{ikl}$ و $x'^t_{inkl} = LY^t_{ink} * RY^t_{ikl}$ به همراه محدودیت‌های زیر به مدل اضافه شده‌اند:

$$x^t_{inkl} \le M * LY^t_{ink} \qquad \forall i,n,k,l,t \qquad (۲۲)$$

$$x^t_{inkl} \ge RF^t_{ikl} - M * (1 - LY^t_{ink}) \qquad \forall i,n,k,l,t \qquad (۲۳)$$

$$x^t_{inkl} \le RF^t_{ikl} \qquad \forall i,n,k,l,t \qquad (۲۴)$$

$$x'^t_{inkl} \le M * LY^t_{ink} \qquad \forall i,n,k,l,t \qquad (۲۵)$$

$$x'^t_{inkl} \ge RY^t_{ikl} - M * (1 - LY^t_{ink}) \qquad \forall i,n,k,l,t \qquad (۲۶)$$

$$x'^t_{inkl} \le RY^t_{ikl} \qquad \forall i,n,k,l,t \qquad (۲۷)$$

۳.۲. مدل مکان‌یابی-تخصیص با جریان‌های مالی

مفروضات مدل با لحاظ کردن جریان‌های مالی به شرح زیرند:

۱. ارتباط جریان‌های فیزیکی و مالی از دو طریق محاسبه‌ی فروش و درآمد ناشی از آن در طول دوره و نیز ارزش موجودی و معادله‌ی تعادل برقرار می‌شود.

۲. برای کنترل عملکرد و بهینه‌سازی عوامل مالی، برای نسبت‌های مالی حد پایین یا بالای قابل قبول تعریف شده است.

همچنین متغیرهای مالی عبارتند از:

NTS^t	مجموع فروش کل زنجیره‌ی عرضه در دوره‌ی t
DPR^t	استهلاک دارایی‌ها در دوره‌ی t
DR^t	نرخ استهلاک دارایی‌ها در دوره‌ی t
FA^t	دارایی‌های ثابت در دوره‌ی t
CA^t	دارایی‌های جاری در دوره‌ی t
$EBIT^t$	درآمد ناخالص (پیش از کسر بهره و مالیات) در دوره‌ی t
IP^t	بهره‌ی پرداختی در دوره‌ی t
LTR^t	نرخ بهره‌ی وام‌های بلندمدت در دوره‌ی t
LTL^t	وام بلندمدت در دوره‌ی t
STR^t	نرخ بهره‌ی وام‌های کوتاه‌مدت در دوره‌ی t
STL^t	وام کوتاه‌مدت در دوره‌ی t
TI^t	درآمد مشمول مالیات در دوره‌ی t
$NOPAT^t$	سود خالص (درآمد پس از کسر بهره و مالیات) در دوره‌ی t
TR^t	نرخ مالیات در دوره‌ی t
E^t	حقوق صاحبان سهام در دوره‌ی t
$Cash^t$	میزان پول نقد در دوره‌ی t
RA^t	حساب‌های دریافتنی در دوره‌ی t

INR^t میزان ارزش موجودی در دوره‌ی t

FAI^t میزان سرمایه‌گذاری روی دارایی‌های ثابت در دوره‌ی t

NIS^t میزان (درآمد ناشی از) انتشار سهام در دوره‌ی t

TIC^t میزان کل دارایی‌ها در دوره‌ی t

CUR^t حداقل نسبت جاری در دوره‌ی t

QR^t حداقل نسبت آنی در دوره‌ی t

CR^t حداقل نرخ پول نقد موجود در دوره‌ی t

$FATR^t$ حداقل گردش دارایی‌های ثابت در دوره‌ی t

RTR^t حداقل نسبت گردش حساب‌های دریافتنی در دوره‌ی t

TDR^t حداکثر نرخ کل بدهی‌ها در دوره‌ی t

DER^t حداکثر نرخ بدهی به حقوق صاحبان سهام در دوره‌ی t

$LTDR^t$ حداکثر نرخ بدهی بلندمدت در دوره‌ی t

CCR^t حداقل نرخ پوشش پول در دوره‌ی t

PMR^t حداقل نرخ حاشیه سود در دوره‌ی t

$ROAR^t$ حداقل نرخ بازگشت بدهی‌ها (بازده) در دوره‌ی t

$ROER^t$ حداقل نرخ بازگشت دارایی‌های صاحبان سهام در دوره‌ی t

و محدودیت‌های جریان مالی عبارتند از:

خالص فروش:

$$NTS^t = (\sum_i \sum_k \sum_l [PDC_{ik}^t * RF_{ikl}^t + RTC_{ikl}^t * RF_{ikl}^t]) * (1 + \bar{\alpha}_{il}) \quad \forall t \quad (۲۸)$$

استهلاک:

$$DPR^t = DR^t * FA^t \quad \forall t \quad (۲۹)$$

درآمد قبل از کسر بهره و مالیات:

$$EBIT^t = NTS^t - TC^t \quad \forall t \quad (۳۰)$$

بهره:

$$IP^t = LTR^t * LTL^t + STR^t * STL^t \quad \forall t \quad (۳۱)$$

درآمد مشمول مالیات:

$$TI^t = EBIT^t - IP^t \quad \forall t \quad (۳۲)$$

سود خالص:

$$NOPAT^t = (1 - TR^t) * TI^t \quad \forall t \quad (۳۳)$$

معادله‌ی اول ترازنامه: برابری مجموع دارایی‌ها یا بدهی‌ها و حقوق صاحبان سهام (دارایی خالص):

$$FA^t + CA^t = E^t + STL^t + LTL^t \quad \forall t \quad (۳۴)$$

دارایی‌های جاری:

$$CA^t = Cash^t + RA^t + INR^t + CA^{t-1} \quad \forall t \quad (۳۵)$$

تغییرات ارزش دارایی‌های ثابت:

$$FA^t = FA^{t-1} + FAI^t - DPR^t \quad \forall t \quad (۳۶)$$

ارزش موجودی:

$$INR^t = \sum_i \sum_n \sum_k INV_{ik}^t \left(\pi_{in}^t * e_n^t * (1 + T_n^t)\right) * LY_{ink}^t \quad \forall t \quad (۳۷)$$

ارزش سهام جدید:

$$E^t = E^{t-1} + NOPAT^t - DPR^t + NIS^t + INR^t \quad \forall t \quad (۳۸)$$

مجموع سرمایه (دارایی‌ها):

$$TIC^t = E^t + STL^t + LTL^t \quad \forall t \quad (۳۹)$$

حداقل نسبت جاری:

$$\frac{CA^t}{STL^t} \geq CUR^t \quad \forall t \quad (۴۰)$$

حداقل نسبت آنی:

$$\frac{CA^t - INR^t}{STL^t} \geq QR^t \quad \forall t \quad (۴۱)$$

حداقل نرخ پول نقد موجود:

$$\frac{Cash^t}{STL^t} \geq CR^t \quad \forall t \quad (۴۲)$$

حداقل گردش دارایی‌های ثابت:

$$\frac{NTS^t}{FA^t} \geq FATR^t \quad \forall t \quad (۴۳)$$

حداقل نسبت گردش حساب‌های دریافتنی:

$$\frac{NTS^t}{RA^t} \geq RTR^t \quad \forall t \quad (۴۴)$$

حداکثر نرخ کل بدهی‌ها:

$$\frac{STL^t + LTL^t}{FA^t + CA^t} \leq TDR^t \quad \forall t \quad (۴۵)$$

حداکثر نرخ بدهی به حقوق صاحبان سهام:

$$\frac{STL^t + LTL^t}{E^t} \leq DER^t \quad \forall t \quad (۴۶)$$

حداکثر نرخ بدهی بلندمدت:

$$\frac{LTL^t}{LTL^t + E^t} \leq LTDR^t \quad \forall t \quad (۴۷)$$

حداقل نرخ پوشش پول:

$$\frac{EBIT^t + DPR^t}{IP^t} \geq CCR^t \quad \forall t \quad (۴۸)$$

حداقل نرخ حاشیه سود:

$$\frac{NOPAT^t}{NTS^t} \geq PMR^t \quad \forall t \quad (۴۹)$$

حداقل نرخ بازگشت بدهی‌ها (بازده):

$$\frac{NOPAT^t}{FA^t + CA^t} \geq ROAR^t \quad \forall t \quad (۵۰)$$

حداقل نرخ بازگشت دارایی‌های صاحبان سهام:

$$\frac{NOPAT^t}{E^t} \geq ROER^t \quad \forall t \quad (۵۱)$$

با اضافه کردن محدودیت‌های (۲۸) تا (۵۱) به مدل قبلی، مدل با لحاظ کردن جریان‌های مالی به دست خواهد آمد.

۳. حل و نتایج

مدل فوق در نرم‌افزار GAMS نسخه‌ی 24.1-64bit در کامپیوتری با پردازنده‌ی Intel®Corei7-5500U CPU 2.40GHz با رم 8GB و سیستم عامل ویندوز 8 (64bit)، با سالور Cplex حل شده است. برای اندیس نوع محصول، پنج دسته‌ی کلی گندم، برنج، گوشت، لبنیات و میوه‌جات در نظر گرفته می‌شود. مواد مغذی مورد نیاز بدن را در سه دسته‌ی ویتامین، پروتئین و مواد معدنی خلاصه کرده‌ایم. علاوه بر دو تأمین‌کننده‌ی داخلی، سه تأمین‌کننده‌ی خارجی نیز وجود دارند که از دو کشور مختلف هستند. شهر مورد مطالعه (با جمعیت ۱۳ میلیون نفر) را به پنج قسمت تقسیم نموده و هر قسمت را به عنوان یک مرکز توزیع (با ظرفیتی برابر با ظرفیت کل مراکز توزیع موجود در آن قسمت به تفکیک محصول) و یک منطقه از مشتریان لحاظ کرده‌ایم. سایر پارامترهای مدل نیز مبتنی بر مقادیر واقعی آن‌ها مشخص شده‌اند. همچنین پارامترهای مالی از مرجع [38] اقتباس شده‌اند. نتایج نشان دادند که با توسعه‌ی ظرفیتی دو مرکز توزیع می‌توان تقاضای کالا و همچنین نیاز واقعی مشتریان به مواد مغذی مورد نیازشان در مناطق پنج‌گانه را برطرف نمود. به علاوه با کنترل سطوح قیمت در انتهای زنجیره‌ی تأمین، بحث دستیابی و قابل خریداری بودن مواد غذایی مورد نیاز برای مشتریان به عنوان یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های امنیت غذایی برآورده شده است. همچنین از تأمین‌کننده‌ی دوم هیچ کالایی به کشور وارد نشده است که تعرفه‌های

بالای کمرگی و همچنین نرخ تبدیل ارز ما از دلایل این موضوع می‌باشند. علاوه بر این لحاظ کردن جریان‌های مالی بر مقدار تأمین و توزیع تأثیری ندارد، اما میانگین سطح موجودی را افزایش می‌دهد. به این دلیل که در مدل مالی، ارزش موجودی جزء دارایی‌های جاری محسوب می‌شود و مقدار آن بر جریان‌های مالی تاثیرگذار است، لذا مقدار صفر از آن پذیرفته نیست. در ادامه مختصراً به ارائه‌ی برخی از مهم‌ترین نتایج حل بهینه پرداخته خواهد شد.

نتایج مربوط به متغیر صفر و یک توسعه‌ی ظرفیتی از حل بهینه عبارت است از:

جدول (۳) - نتایج مربوط به متغیر صفر و یک توسعه‌ی ظرفیتی از حل بهینه

$Incr_{ick}$	k	
i,c	2	3
1,2	۱	۱
2,1	۰	۱
5,2	۰	۱

که یعنی در منطقه‌ی ۲، ظرفیت مرکز توزیع برای محصول گندم به اندازه‌ی سطح ظرفیتی ۲، یعنی ۲۰۰هزار تن افزایش پیدا کند. در منطقه‌ی ۳، ظرفیت مراکز توزیع برای محصول برنج و میوه‌جات به ترتیب به اندازه‌ی سطح ظرفیتی ۱ و ۲ افزایش پیدا کند.

قیمت سبد محصولات غذایی خانوار برای مناطق پنج‌گانه برای دوره‌ی اول تا چهارم به شرح زیر است:

جدول (۴) - نتایج مربوط به قیمت سبد محصولات غذایی خانوار از حل بهینه

$BasketPrice_l^t$	1	2	3	4
1	۲۲٤٥,۳۱۷	۲۲٤٤,۲۲۱	۲۲۳٦,٤۷۲	۲۲٤۲,۷۸۷
2	۲۲٥٤,۰۲٥	۲۲٥٤,۰۲٥	۲۲٥٤,۰۲٥	۲۲٥٤,۰۲٥
3	۲۲٤۲,۰٥۳	۲۲٤۳,۰۰٦	۲۲٤۰,٤۷۹	۲۲٤٦,٥۹۱
4	۲۲٤۹,۸٤۲	۲۲٥۱,٦۲۹	۲۲٤۹,۸٤۲	۲۲٥۱,٦۲۹
5	۲۲٦۰,۰۸۰	۲۲٦۰,۰۸۰	۲۲۱۲,۷۰۸	۲۲٦۰,۰۸۰

میانگین سطح کیفی گندم ارسال شده به نواحی جمعیتی به عنوان ضروری ترین محصول، از حل بهینه برای دوره‌ی اول تا چهارم به شرح زیر است:

جدول (۵) - نتایج مربوط به میانگین سطح کیفی گندم ارسال شده به نواحی جمعیتی از حل بهینه

$QualityLevel_{il}^t$	1	2	3	4
1,1	۰,۹۴۳	۰,۸۸۰	۰,۸۸۰	۰,۸۸۰
1,2	۰,۹٦٥	۰,۹۰۱	۰,۹۰۱	۰,۹٦٥
1,3	۰,۸۰٥	۰,۹٦٥	۰,۹٦٥	۰,۹٦٥
1,4	۰,۹٦٥	۰,۷۹۴	۰,۷۹۴	۰,۹٦٥
1,5	۰,۹٦٥	۰,۹٦٥	۰,۹٦٥	۰,۹٦٥

و به علت محدودیت فضا از ارائه‌ی سایر نتایج صرف نظر می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای نخستین بار به ارائه‌ی یک مدل کمّی برای طراحی مجدد شبکه و برنامه‌ریزی زنجیره تأمین محصولات غذایی با لحاظ کردن ابعاد مختلف امنیت غذایی پرداخته شده است. شبکه‌ی سه‌سطحی مورد نظر در قالب یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی پیشنهاد گردید که شامل تصمیم‌گیری در خصوص توسعه‌ی ظرفیتی مراکز توزیع، انتخاب تأمین‌کننده (داخلی و خارجی) بر اساس قیمت و کیفیت و سایر هزینه‌ها، تخصیص مراکز توزیع به تأمین‌کننده‌ها و مشتریان به مراکز توزیع و جریان فیزیکی مواد غذایی

در شبکه است که قیمت نهایی مواد غذایی را نیز کنترل می‌کند. علاوه بر چندمحصولی و چنددوره‌ای بودن مدل، دیگر جنبه‌ی نوآورانه‌ی این مقاله لحاظ کردن جریان مالی در شبکه و کنترل عملکرد مالی زنجیره بود که موجب کمینه‌سازی انحرافات شاخص‌های مالی می‌شود. مدل پس از خطی‌سازی با استفاده از نرم‌افزار گمز و سالور سیپلکس حل شده و یک مثال عددی نیز برای نمایش کاربرد مدل ارائه گردید.

در نظر گرفتن همزمان جریان‌های فیزیکی و مالی سبب می‌شود نسبت‌ها و نرخ‌های مالی به حالت بهینه نزدیک‌تر شود و سود زنجیره افزایش پیدا کند. در واقع در نظر گرفتن جریان مالی، با نزدیک‌تر کردن مدل به شرایط دنیای واقعی، سودآوری و در نتیجه بقای زنجیره را تضمین می‌کند. همچنین نتایج نشان می‌دهند با کنترل سطوح قیمت در انتهای زنجیره تأمین، بحث دستیابی و قابل خریداری بودن مواد غذایی مورد نیاز برای مشتریان به عنوان یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های امنیت غذایی برآورده می‌شود. علاوه بر این، راهکار مدل برای افزایش ظرفیت مراکز توزیع گندم ناشی از اهمیت فراوان عرضه‌ی این محصول استراتژیک دارد. در طراحی مجدد شبکه‌ی توزیع، ظرفیت مرکز توزیع گندم در شرق و غرب شهر می‌بایست به اندازه‌ی سطح ظرفیتی دو یعنی دویست هزار تن افزایش پیدا کند. همچنین ظرفیت مرکز توزیع برنج و میوه‌جات در غرب شهر باید به ترتیب به اندازه‌ی سطح ظرفیتی یک و دو، یعنی ۱۰۰ و ۲۰۰ هزار تن افزایش پیدا کند.

برجستگی مدل این مقاله از آن جهت است که همزمان با کنترل هزینه‌های مصرف‌کننده در قالب قیمت سبد محصولات غذایی، علاوه بر تقاضای ظاهری، نیاز واقعی بدن به سه ماده‌ی مغذی ضروری یعنی ویتامین، پروتئین و املاح معدنی را برای افراد در مناطق گوناگون برآورده می‌کند که در درازمدت تاثیرات بسزایی در سلامت جامعه خواهد داشت. علاوه بر این شاید مهم‌ترین هدف مدل پیشنهادی با رویکرد امنیت غذایی، مؤلفه‌ی دستیابی و قابل خریداری بودن پنج ماده‌ی غذایی ضروری برای افراد در نواحی جمعیتی مختلف بوده که در پاسخ بهینه محقق شده است.

به منظور توسعه‌ی مدل پیشنهادی می‌توان امکان ارسال عرضی محصولات در هر یک از سطوح شبکه و نیز ارسال مستقیم از تامین‌کنندگان به مناطق مشتریان را مد نظر قرار داد. به علاوه امکان چندمنبعی بودن تأمین برای مراکز توزیع و وجود گزینه‌های گوناگون برای شیوه‌ی حمل برون‌مرزی و درون‌مرزی محصولات می‌تواند فرصت‌هایی برای پژوهش‌های آتی باشند. با توجه به جهانی بودن شبکه‌ی زنجیره‌ی تامین محصولات غذایی و به ویژه اهمیت ثبات عرضه برای اقلام ضروری با کیفیت مناسب در رویکرد امنیت غذایی، به کارگیری انواع روش‌های بهینه‌سازی استوار برای مقابله با اختلال در جریان شبکه می‌تواند یکی از بهترین توسعه‌ها برای ارتقاء قابلیت اطمینان مدل این پژوهش باشد. غیرقطعی در نظر گرفتن پارامترهایی همچون نرخ ارز (به دلیل نوسانات) و تقاضا می‌تواند به واقعی‌تر شدن مدل کمک نماید. علاوه بر این، هدف مدل حاضر کاهش هزینه‌ها، ضمن ارضاء محدودیت‌هایی از قبیل کیفیت است. نظر به تنوع ترجیحات مصرف‌کنندگان، در نظر گرفتن چند هدف برای مدل پیشنهاد می‌گردد، به نحوی که کل هزینه‌ها حداقل، کیفیت حداکثر و قیمت سبد محصولات غذایی خانوار کمترین فاصله را با درآمد قابل تخصیص به محصولات غذایی داشته باشد تا مطلوبیت مصرف‌کننده از سبد محصولات غذایی حداکثر شود.

منابع

[1] P. J. Ericksen, "Conceptualizing food systems for global environmental change research," Glob. Environ. Change, vol. 18, no. 1, pp. 234–245, 2008.

[2] Eeconomist Intelligence Unit, "Global food security index 2013: An annual measure of the state of global food security," Online Httpfoodsecurityindex Eiu ComIndexAccessed Sept. 7 2013, 2013.

[3] A. J. Higgins, C. J. Miller, A. A. Archer, T. Ton, C. S. Fletcher, and R. R. J. McAllister, "Challenges of operations research practice in agricultural value chains," J. Oper. Res. Soc., vol. 61, no. 6, pp. 964–973, 2010.

[4] O. Ahumada and J. R. Villalobos, "Application of planning models in the agri-food supply chain: A review," Eur. J. Oper. Res., vol. 196, no. 1, pp. 1–20, 2009.

[5] M. Musavi and A. Bozorgi-Amiri, "A multi-objective sustainable hub location-scheduling problem for perishable food supply chain," Comput. Ind. Eng., vol. 113, pp. 766–778, 2017.

[6] J. J. Glen, "Mathematical models in farm planning: a survey," Oper. Res., vol. 35, no. 5, pp. 641–666, 1987.

[7] M. T. Lucas and D. Chhajed, "Applications of location analysis in agriculture: a survey," J. Oper. Res. Soc., vol. 55, no. 6, pp. 561–578, 2004.

[8] M. Shukla and S. Jharkharia, "Agri-fresh produce supply chain management: a state-of-the-art literature review," Int. J. Oper. Prod. Manag., vol. 33, no. 2, pp. 114–158, 2013.

[9] N. K. Tsolakis, C. A. Keramydas, A. K. Toka, D. A. Aidonis, and E. T. Iakovou, "Agrifood supply chain management: A comprehensive hierarchical decision-making framework and a critical taxonomy," Biosyst. Eng., vol. 120, pp. 47–64, 2014.

[10] R. D. Kusumastuti, D. P. van Donk, and R. Teunter, "Crop-related harvesting and processing planning: a review," Int. J. Prod. Econ., vol. 174, pp. 76–92, 2016.

[11] R. Mahajan, R. Mahajan, S. Garg, S. Garg, P. B. Sharma, and P. B. Sharma, "Processed food supply chain: a framework for literature review," J. Adv. Manag. Res., vol. 14, no. 1, pp. 91–109, 2017.

[12] M. S. Beg, S. Ahmad, K. Jan, and K. Bashir, "Status, supply chain and processing of Cocoa-A review," Trends Food Sci. Technol., 2017.

[13] P. Beske, A. Land, and S. Seuring, "Sustainable supply chain management practices and dynamic capabilities in the food industry: A critical analysis of the literature," Int. J. Prod. Econ., vol. 152, pp. 131–143, 2014.

[14] R. Akkerman, P. Farahani, and M. Grunow, "Quality, safety and sustainability in food distribution: a review of quantitative operations management approaches and challenges," Spectr., vol. 32, no. 4, pp. 863–904, 2010.

[15] V. Borodin, J. Bourtembourg, F. Hnaien, and N. Labadie, "Handling uncertainty in agricultural supply chain management: a state of the art," Eur. J. Oper. Res., vol. 254, no. 2, pp. 348–359, 2016.

[16] M. T. Melo, S. Nickel, and F. Saldanha-Da-Gama, "Facility location and supply chain management–A review," Eur. J. Oper. Res., vol. 196, no. 2, pp. 401–412, 2009.

[17] M. J. Meixell and V. B. Gargeya, "Global supply chain design: A literature review and critique," Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev., vol. 41, no. 6, pp. 531–550, 2005.

[18] J. Blackburn and G. Scudder, "Supply chain strategies for perishable products: the case of fresh produce," Prod. Oper. Manag., vol. 18, no. 2, pp. 129–137, 2009.

[19] B. Groothedde, C. Ruijgrok, and L. Tavasszy, "Towards collaborative, intermodal hub networks: A case study in the fast moving consumer goods market," Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev., vol. 41, no. 6, pp. 567–583, 2005.

[20] E. Levén and A. Segerstedt, "Polarica's wild berries: an example of a required storage capacity calculation and where to locate this inventory," Supply Chain Manag. Int. J., vol. 9, no. 3, pp. 213–218, 2004.

[21] G. Reiner and M. Trcka, "Customized supply chain design: Problems and alternatives for a production company in the food industry. A simulation based analysis," Int. J. Prod. Econ., vol. 89, no. 2, pp. 217–229, 2004.

[22] J. G. Van Der Vorst, S.-O. Tromp, and D.-J. van der Zee, "Simulation modelling for food supply chain redesign; integrated decision making on product quality, sustainability and logistics," Int. J. Prod. Res., vol. 47, no. 23, pp. 6611–6631, 2009.

[23] F. H. Wouda, P. van Beek, J. G. van der Vorst, and H. Tacke, "An application of mixed-integer linear programming models on the redesign of the supply network of Nutricia Dairy & Drinks Group in Hungary," Spectr., vol. 24, no. 4, pp. 449–465, 2002.

[24] G. Zhang, W. Habenicht, and W. E. L. Spie\s s, "Improving the structure of deep frozen and chilled food chain with tabu search procedure," J. Food Eng., vol. 60, no. 1, pp. 67–79, 2003.

[25] O. Ahumada and J. R. Villalobos, "A tactical model for planning the production and distribution of fresh produce," Ann. Oper. Res., vol. 190, no. 1, pp. 339–358, 2011.

[26] B. Bilgen and H.-O. Günther, "Integrated production and distribution planning in the fast moving consumer goods industry: a block planning application," Spectr., vol. 32, no. 4, pp. 927–955, 2010.

[27] G. Brown, J. Keegan, B. Vigus, and K. Wood, "The Kellogg company optimizes production, inventory, and distribution," Interfaces, vol. 31, no. 6, pp. 1–15, 2001.

[28] S. D. Ekşioğlu and M. Jin, "Cross-facility production and transportation planning problem with perishable inventory," in International Conference on Computational Science and Its Applications, 2006, pp. 708–717.

[29] A. Higgins, G. Beashel, and A. Harrison, "Scheduling of brand production and shipping within a sugar supply chain," J. Oper. Res. Soc., vol. 57, no. 5, pp. 490–498, 2006.

[30] G. Ioannou, "Streamlining the supply chain of the Hellenic sugar industry," J. Food Eng., vol. 70, no. 3, pp. 323–332, 2005.

[31] A. Rong, R. Akkerman, and M. Grunow, "An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain," Int. J. Prod. Econ., vol. 131, no. 1, pp. 421–429, 2011.

[32] C. Schweigman, E. J. Bakker, and T. A. B. Snijders, "Operations research as a tool for analysis of food security problems," Eur. J. Oper. Res., vol. 49, no. 2, pp. 211–221, 1990.

[33] C. Schweigman, "Food security problems in sub-Saharan Africa: Operations Research as a tool of analysis," Int. Trans. Oper. Res., vol. 15, no. 2, pp. 173–193, 2008.

[34] C. C. Krejci and B. M. Beamon, "Environmentally-conscious supply chain design in support of food security," Oper. Supply Chain Manag., vol. 3, no. 1, pp. 14–29, 2010.

[35] O. Borodina et al., "Sustainable agriculture, food security, and socio-economic risks in Ukraine," Manag. Saf. Heterog. Syst., pp. 169–185, 2012.

[36] P. Longinidis and M. C. Georgiadis, "Integration of financial statement analysis in the optimal design of supply chain networks under demand uncertainty," Int. J. Prod. Econ., vol. 129, no. 2, pp. 262–276, 2011.

[37] P. Longinidis and M. C. Georgiadis, "Managing the trade-offs between financial performance and credit solvency in the optimal design of supply chain networks under economic uncertainty," Comput. Chem. Eng., vol. 48, pp. 264–279, 2013.

[38] م. کلانتری, م. پیشوایی and س. یعقوبی, "یک مدل بهینه سازی چندهدفه برای یکپارچه سازی جریان مالی و فیزیکی در برنامه ریزی اصلی زنجیره تأمین," چشم انداز مدیریت صنعتی, vol. 19, pp. 9–31, 2015.