

# ارائه‌ی یک مدل ریاضی سه‌هدفه برای برنامه‌ریزی پایدار زنجیره‌ی تأمین مواد کشاورزی زوال‌پذیر

مینا رحمانی (کارشناسی ارشد)

زینب سازور\* (استادیار)

علی بزرگی امیری (استادیار)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشکده‌ی فنی دانشگاه تهران

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، تابستان ۱۳۹۸  
دوره ۱-۳۵، شماره ۱/۲، صص ۲۵-۳۸

امروزه با افزایش جمعیت، مسئله‌ی تأمین غذا به یکی از چالش‌های مهم دولت‌ها و ملت‌ها تبدیل شده است. عدم مدیریت پسماند مواد غذایی از یک سو و استفاده‌ی بی‌رویه از کودها و مواد شیمیایی در تولید محصولات غذایی از سوی دیگر، اثرات بسیار مخرب و جبران‌ناپذیری بر محیط‌زیست و سلامتی انسان‌ها دارند.

در این مقاله با در نظر داشتن معیارهای توسعه‌ی پایدار، مسئله‌ی برنامه‌ریزی فنی یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی و متمرکز برای مواد غذایی مطالعه و بررسی شده است. محدودیت ظرفیت انبار، زوال موجودی‌های در انبار و حین حمل، جانشینی تقاضا به صورت روبه پایین و هزینه‌ی نگهداری غیرخطی از جمله ویژگی‌های مسئله‌ی مورد بررسی است. مسئله با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه مدل‌سازی شده و با بهره‌گیری از داده‌های یک مطالعه‌ی موردی تحلیل حساسیت انجام شده است. نتایج عددی بر وابستگی الگوی تولید و مصرف در جهت شاخص‌های پایداری تأکید دارند.

واژگان کلیدی: زنجیره‌ی تأمین پایدار، هزینه‌ی نگهداری غیرخطی، جانشینی تقاضا روبه پایین، زوال محصولات در راه، برنامه‌ریزی ریاضی.

## ۱. مقدمه

با توجه به شرایط حاکم بر بازارهای جهانی، شرکت‌ها و صنایع به منظور کسب مزیت رقابتی و سودآوری بیشتر مجبور به تمرکز بر زنجیره‌ی تأمین و پیاده‌سازی آن شده‌اند. یک زنجیره‌ی تأمین از بخش‌ها و اعضایی تشکیل شده است که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم، با اتخاذ تصمیمات در سطوح مختلف، در برآوردن نیاز مشتری دخیل هستند. در زنجیره‌های تأمین سنتی بیشتر تمرکز و هدف سازمان‌ها و صنایع بر کاهش هزینه‌ها (افزایش سود) و افزایش رضایت مشتری بوده است؛ اما امروزه، چالش‌های زیست‌محیطی مانند گرم شدن کره‌ی زمین، آلودگی آب‌وهوا و از طرف دیگر افزایش قوانین و مقررات زیست‌محیطی، فشارهای سهام‌داران و دست‌یابی به مزیت رقابتی باعث شده است سازمان‌ها و صنایع توجه ویژه‌ی بر مدیریت فعالیت‌های خود از بعد زیست‌محیطی داشته باشند. در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی در تمام مراحل و تصمیمات زنجیره‌ی تأمین منجر به تشکیل زنجیره‌ی تأمین سبز<sup>۱</sup> می‌شود. در صورتی‌که مدیران و تصمیم‌گیرندگان زنجیره‌ی تأمین به جنبه‌ی اجتماعی زنجیره، که در پی توجه به سلامت و رفاه اجتماعی افراد جامعه و از عوامل مهم در

\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۶/۸/۲، اصلاحیه ۱۳۹۷/۲/۱۷، پذیرش ۱۳۹۷/۳/۱۳.

DOI:10.24200/J65.2018.7103.1788

mina\_rahmani@ut.ac.ir  
sazvar@ut.ac.ir  
alibozorgi@ut.ac.ir

ایجاد یک جامعه‌ی سالم است، توجه کرده باشند یک زنجیره با اهداف پایدار<sup>۲</sup> را برنامه‌ریزی کرده‌اند.

زنجیره‌ی تأمین مواد غذایی، که زنجیره‌ی مورد بررسی در این تحقیق است، فعالیت‌هایی نظیر تدارک مواد اولیه‌ی کشاورزی، پردازش آن‌ها برای مصرف نهایی مشتریان و توزیع آنها را به یکدیگر ارتباط می‌دهد. صنعت مواد غذایی با حضور بازیگرانی مانند کشاورزان، تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، حمل‌کنندگان، بسته‌بندی‌کنندگان، صادرکنندگان، خرده‌فروشان، عمده‌فروشان و مشتریان نهایی با گرایش‌ها و ابعاد فرهنگی و علائق مختلف به صنعتی پویا و چالش برانگیز تبدیل شده است.

زنجیره‌های تأمین مواد غذایی تفاوت‌هایی با زنجیره‌های تأمین سایر محصولات دارند. تفاوت اساسی زنجیره‌ی تأمین این نوع از مواد، تغییر قابل توجه و پیوسته‌ی کیفیت محصولات غذایی در سرتاسر زنجیره‌ی تأمین تا رسیدن به دست مصرف‌کننده‌ی نهایی است. مطالعات نشان می‌دهند که تقریباً در تمام کشورها حدود ۲۰ تا ۶۰ درصد از مقدار کل محصولات تازه‌ی کشاورزی خراب و ضایع می‌شوند. به گزارش فائو، ایرانی‌ها حدود ۶۰ درصد از درآمد حاصل از نفت را به سطل زباله می‌ریزند که بیشتر آن مربوط به ضایعات مواد غذایی و کشاورزی است. ضایعات مواد غذایی در ایران معادل ضایعات مواد غذایی ۱۰ کشور اروپایی و ۷ برابر کشور فرانسه

است.<sup>[۱]</sup> با توجه به این آمار، قطعاً این حجم از دورریز می‌تواند اثرات مخربی بر محیط‌زیست و سلامتی افراد جامعه داشته باشد؛ بنابراین، نیاز مبرم به بررسی و برنامه‌ریزی دقیق زنجیره‌های تأمین مواد غذایی به طور مشهودی احساس می‌شود. در این تحقیق به بررسی زنجیره‌های تأمین محصولات کشاورزی ارگانیک و شیمیایی به عنوان زیرمجموعه‌ی از زنجیره‌ی تأمین مواد غذایی با نگاهی به هر سه جنبه‌ی پایداری پرداخته شده است.

در کل، کشاورزی ارگانیک سیستمی از تولیدات کشاورزی است که در آن کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، هورمون‌ها و افزودنی‌های شیمیایی مصنوعی به کار گرفته نشده است و برای تقویت حاصلخیزی خاک، کنترل آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز از روش‌های غیرشیمیایی از قبیل تناوب زراعی، کود سبز، مبارزه‌ی زیستی، پوساله (کمپوست) و مانند آن استفاده می‌شود.<sup>[۲]</sup> تقاضا برای محصولات ارگانیک در اروپا و آمریکای شمالی بیشترین مقدار را داراست و آلمان به عنوان بزرگ‌ترین و مهم‌ترین بازار اروپایی محصولات ارگانیک، دارای درآمدی بیش از ۷ بیلیون یورو است.<sup>[۳]</sup> لی و ورسلی<sup>[۴]</sup> بر اساس پژوهشی بر روی مردم استرالیا به این نتیجه رسیدند که بیشتر استرالیایی‌ها معتقدند که محصولات ارگانیک برای سلامتی انسان‌ها، اقتصاد، کشاورزی و محیط‌زیست بهترند و البته کیفیت، ارزش غذایی، طعم و مزه‌ی بهتری نیز دارند. آمار ابتلا به بیماری‌های مزمن نظیر فشارخون، دیابت نوع ۲، بیماری‌های قلبی و عروقی در مصرف‌کنندگان مواد ارگانیک نسبت به محصولات شیمیایی به مراتب پایین‌تر است.<sup>[۵]</sup>

قیمت و در دسترس بودن نیز از جمله عوامل‌های شناخته شده‌ی پیشروی خرید این نوع از محصولات هستند. البته همان‌طور که گفته شد در کنار اثرات مثبت این نوع از محصولات، بازدهی نسبتاً پایین و مسئله‌ی مدیریت مواد مغذی به عنوان چالش‌های شناخته شده در این عرصه معرفی شده‌اند که با مدیریت صحیح و استفاده از فناوری‌های مناسب می‌توان آنها را بهبود بخشید.<sup>[۶]</sup> تاکنون در ایران مطالعات بسیار اندکی در زمینه‌ی بررسی ترجیحات مصرف‌کنندگان مواد ارگانیک انتشار یافته است.

بیشتر مطالعات صورت گرفته در حوزه‌ی محصولات ارگانیک در پی یافتن عامل‌هایی‌اند که مشتریان را به خرید محصولات ارگانیک سوق می‌دهد و این محصولات کمتر از زاویه‌ی زنجیره‌های تأمین پایدار و به ویژه در مدل‌های کتبی بررسی و تجزیه و تحلیل شده‌اند. هدف از ارائه‌ی این مقاله بررسی و مطالعه‌ی یک زنجیره‌ی تأمین پایدار دوسطحی برای یک محصول کشاورزی زوال‌پذیر است که با استفاده از دو سیستم تولید مختلف، یعنی ارگانیک و شیمیایی، تأمین شده است و در اختیار مشتریان قرار می‌گیرد. با توجه به این‌که محصولات ارگانیک تمام ویژگی‌های محصولات شیمیایی را پوشش می‌دهند، فرض جانشینی محصولات ارگانیک به جای شیمیایی در صورت کمبود این محصولات در نظر گرفته شده است. یکی از نوآوری‌های جالب توجه این مقاله در نظر گرفتن جانشینی تقاضا به همراه تقاضای پس‌افت جزئی است که منجر به شکل‌گیری معادلات تعادل موجودی به شکل نوینی شده است. اهداف در نظر گرفته شده در این مدل شامل حداقل هزینه‌های کل زنجیره، کمیته‌سازی انتشارات گازهای گلخانه‌یی ناشی از عملیات تولید، دفع و حمل و بیشینه‌سازی سطح سلامت اجتماعی هستند. تابع هدف اجتماعی به شکلی نوین و به صورت تابعی از سلامت افراد جامعه و سلامت محیط‌زیست/زندگی تعریف شده است. در این راستا، سلامت جامعه تابعی از نرخ مصرف و سلامت محیط‌زیست وابسته به مقدار تولید و دفع در نظر گرفته شده است. متغیرهای تصمیم تعریف شده در مسئله شامل مقدار تولید شده و مصرف شده از هر کدام از محصولات، مقدار کمبود و موجودی از هر محصول در خرده‌فروش، مقدار محصول انتقال یافته

به مصرف‌کننده و همچنین مقدار محصول زوال یافته در حین حمل می‌باشند که با استفاده از روش محدودیت اسیلون تقویت شده مقدار آنها محاسبه شده است. محاسبه‌ی هر کدام از این متغیرهای تصمیم، می‌تواند نقش بسزایی در کمک به مدیران زنجیره‌های تأمین داشته باشند. ظرفیت خرده‌فروش، تعادل موجودی محصولات ارگانیک و شیمیایی، محدودیت‌های خطی‌سازی هزینه‌های راه‌اندازی و نگهداری، همچنین تعداد محصولات زوال یافته در حین حمل از جمله محدودیت‌های در نظر گرفته شده در مسئله هستند. در ادامه‌ی پژوهش، در بخش ۲ مروری بر مطالعات صورت گرفته در حوزه‌ی زنجیره‌های تأمین سبز/پایدار شده است. سپس در بخش ۳ به تعریف دقیق مسئله و بیان مفروضات مدل پرداخته می‌شود. مدل ریاضی به شکل خطی در بخش ۴ ارائه شده است. در بخش ۵ تحلیل عددی انجام شده است و در پایان پیشنهادها‌ی آتی و نتیجه‌گیری از مسئله در بخش ۶ آورده شده است.

## ۲. مرور پیشینه‌ی - زنجیره‌های تأمین سبز/پایدار

جهان امروز با مسائلی چون آلودگی‌ها، گرم شدن زمین، آب شدن یخچال‌های طبیعی و افزایش گازهای گلخانه‌یی مواجه است؛ بنابراین حفظ محیط‌زیست و راهبردهای مربوط به آن در اولویت‌های اصلی بسیاری از دولت‌ها و سازمان‌ها قرار گرفته است. در مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز، سازمان تأثیرات منفی زیست‌محیطی را کاهش داده است تا به استفاده‌ی مطلوب از منابع و انرژی دست یابد. هدف از مدیریت زنجیره‌های تأمین سبز، یکپارچه‌سازی زنجیره‌ی تأمین با الزامات زیست‌محیطی در تمام مراحل از طراحی محصول تا تحویل به مشتری و نیز پس از مصرف، بازیافت و مصرف مجدد به منظور بیشینه کردن میزان بهره‌وری انرژی و منابع و در نهایت بهبود عملکرد کل زنجیره‌ی تأمین است.<sup>[۱]</sup> مفهوم مدیریت زنجیره‌ی تأمین پایدار وسیع‌تر از مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز است و علاوه بر الزامات اقتصادی و زیست‌محیطی، در برگیرنده‌ی الزامات اجتماعی نیز می‌شود.<sup>[۲]</sup>

بعد اقتصادی و زیست‌محیطی مربوط به زنجیره‌ی تأمین بسیار بیشتر از بعد اجتماعی بررسی و مطالعه شده است.<sup>[۳]</sup> البته تعدادی از مقالات مروری که در دهه‌های اخیر در حوزه‌ی مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز انجام شده‌اند کلی‌اند و به صورت جامع تمام حوزه‌ها را پوشش داده‌اند.<sup>[۴-۱۱]</sup> برندنبرگ و همکاران<sup>[۸]</sup>، اسکندرپور و همکاران<sup>[۱۲]</sup>، انصاری و کانت<sup>[۱۳]</sup> از جمله محققانی هستند که مقالات مروری جامعی در حیطه‌ی زنجیره‌ی تأمین پایدار ارائه داده‌اند.

در جدول ۱ خلاصه‌ی این مقالات اخیر مرتبط با موضوع این مطالعه و در حوزه‌ی مدیریت زنجیره‌های تأمین سبز/پایدار گزارش شده است تا جایگاه این مطالعه در بین پژوهش‌های مرتبط با موضوع زنجیره‌های تأمین پایدار بهتر مشخص شود. در ادامه به معرفی تک‌تک سرفصل‌ها در جدول ۱ پرداخته و کاربرد مقالات ارائه شده در این حوزه از نظر گذراننده می‌شود. ستون اول اختصاص به نوع محصول دارد. محصولات به طور کلی به دو دسته محصولات با عمر نامحدود و کالاهای زوال‌پذیر تقسیم شده‌اند. کالاهای زوال‌پذیر به کالاهایی گفته می‌شود که عمر مفید محدود دارند و در نهایت نیز دورریز دارند. آن‌گونه که مشخص است بیشتر نویسندگان مدل‌سازی‌هایی را برای کالاهای با طول عمر نامحدود ارائه کرده‌اند؛ اما تعدادی نیز نظیر سویال و همکاران<sup>[۱۴]</sup> سازور و همکاران<sup>[۱۵]</sup> مدل‌های خود را برای کالاهای زوال‌پذیر توسعه و ارائه داده‌اند. در مورد کمبود نیز در تعداد بسیار کمی از مقالات فرض در نظر گرفتن کمبود به چشم می‌خورد. کمبود، زمانی پیش می‌آید که تقاضا از عرضه پیشی گرفته باشد و به دو دسته‌ی پس‌افت<sup>[۱۶]</sup> و فروش از دست رفته<sup>[۱۷]</sup> تقسیم می‌شود. همچنین

جدول ۱. جدول مطالعات پیشین.

جانشینی تقاضا	معیار اجتماعی	معیار		کاربرد	کمبود	نوع محصولات	نویسندگان
		زیست محیطی	اقتصادی				
-	-	اثر زیست محیطی	سود	کاغذ و خمیر کاغذ	-	عمر نامحدود	پیتنو - وارلا و همکاران [۲۰۱۱] (۲۰۱۱)
-	-	گازهای خطرناک تولید شده	هزینه	-	پس‌افت	عمر نامحدود	جمشیدی و همکاران [۱۶] (۲۰۱۲)
-	-	انتشارات گلخانه‌یی	هزینه	آلومینیوم	-	عمر نامحدود	شعبان و همکاران [۱۹] (۲۰۱۴)
-	-	انتشارات گلخانه‌یی ناشی از حمل و نقل	هزینه‌های لجستیکی	گوشت	-	زوال‌پذیر	سویال و همکاران [۱۴] (۲۰۱۴)
-	مزایای اجتماعی	اثرات زیست محیطی	هزینه	شیشه	-	عمر نامحدود	دیوکا و همکاران [۲۹] (۲۰۱۴)
-	-	اثر زیست محیطی	هزینه	مواد غذایی زوال‌پذیر	-	زوال‌پذیر	گوبدان و همکاران [۳۰] (۲۰۱۴)
-	-	انتشارات کربن دی‌اکسید	هزینه	-	-	-	هریس و همکاران [۲۰] (۲۰۱۴)
-	فرصت‌های شغلی ایجاد شده	اثر زیست محیطی	سود	تصفیه‌خانه زیستی	-	عمر نامحدود	سانتیانز - آگویلار و همکاران [۲۵] (۲۰۱۴)
-	-	انتشارات گلخانه‌یی	هزینه	رادیواکتیو	پس‌افت و فروش از دست رفته	زوال‌پذیر	سازور و همکاران [۱۵] (۲۰۱۴)
-	-	انتشارات کربن دی‌اکسید	هزینه	مواد لبنی	-	-	ولیدی و همکاران [۲۳] (۲۰۱۴)
-	-	انتشارات گلخانه‌یی	هزینه	گاز طبیعی	-	عمر نامحدود	آزاده و همکاران [۲۲] (۲۰۱۵)
-	میانگین سطح خدمت	انتشارات کربن	ارزش خالص فعلی سود	محصول آرایشی	فروش از دست رفته	عمر نامحدود	برندنبرگ و همکاران [۱۷] (۲۰۱۵)
-	-	کل انتشارات	ارزش خالص فعلی سود	اتومبیل	-	عمر نامحدود	تاگنتی و همکاران [۲۸] (۲۰۱۵)
-	تغییرات منابع انسانی	انتشارات گلخانه‌یی	سود	محصولات تازه	پس‌افت جزئی	زوال‌پذیر	سپهری و سازور [۱۸] (۲۰۱۶)
-	فرصت‌های شغلی ایجاد شده	هزینه زیست محیطی	هزینه	بیواتانول	-	عمر نامحدود	میرت و همکاران [۲۱] (۲۰۱۶)
-	-	اثر زیست محیطی	هزینه	بیودیزل	-	عمر نامحدود	بابازاده و همکاران [۲۷] (۲۰۱۷)

تعداد محدودی از مقالات با در نظر گرفتن پس‌افت جزئی، فرض هر دو نوع کمبود به صورت هم‌زمان را مد نظر قرار داده‌اند.<sup>[۱۸]</sup> کمبود از نوع پس‌افت به حالتی اشاره دارد که در یک دوره نتوان به کل تقاضاها پاسخ داد؛ بنابراین مشتریان با تقاضای پاسخ داده نشده تا دوره/دوره‌های بعد صبر می‌کنند تا برآورده شوند. اما کمبود از نوع فروش از دست رفته زمانی به وجود می‌آید که در صورت ارضا نشدن تقاضا، مشتری ترجیح می‌دهد به جای صبر کردن تا دوره/دوره‌های آتی، برای برآوردن نیازش به خرده‌فروش دیگری مراجعه کند. کمبود پس‌افت جزئی نیز ترکیبی از هر دو حالت بالاست؛ بدین ترتیب که درصدی از مشتریان صبر می‌کنند تا نیازشان در دوره/دوره‌های آتی برآورده شود و درصدی دیگر از مشتریان نیز ترجیح می‌دهند تا به منظور رفع نیازهای خود به خرده‌فروشان دیگری مراجعه کنند. با توجه به جدول ۱ می‌توان به وضوح مشاهده کرد که خلأ بررسی و لحاظ کردن کمبود به ویژه به صورت پس‌افت جزئی در مطالعات زنجیره‌ی تأمین سبز و پایدار وجود دارد. همچنین بسیاری از محققان نیز زنجیره‌های تأمین سبز و پایدار را در صنایع مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند. تحقیقات نشان می‌دهند که بیشتر مطالعات انتشار یافته در حوزه‌ی بخش‌های مرتبط با فناوری نظیر انرژی، الکترونیک و خودرو هستند.<sup>[۸]</sup> توابع هدف از جمله عناوین مهم در جدول ۱ می‌باشند. بیشتر محققان در پی کمی‌سازی هزینه به عنوان هدف اقتصادی در مدل‌های پیشنهادی خود هستند.<sup>[۱۹-۲۳]</sup> همچنین بیشینه‌سازی سود نیز از جمله اهداف اقتصادی زنجیره‌های تأمین است که توسط تعدادی از محققان به کار گرفته می‌شود.<sup>[۲۴-۲۵]</sup> هدف زیست‌محیطی نیز که به یک چالش مهم برای جهانیان تبدیل شده است، در مطالعات به شکل‌های مختلف ارائه شده است. نتو و همکاران<sup>[۲۶]</sup> یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه را برای طراحی و ارزیابی شبکه‌ی لجستیک پایدار توسعه دادند که در آن هر دو اثر هزینه و زیست‌محیطی لحاظ شده‌اند. انتشار گازهای  $NO_x$  و دی‌اکسیدکربن و زباله‌های جامد از جمله اثرات زیست‌محیطی‌اند که در این مدل به آنها پرداخته شده است. بابازاده و همکاران<sup>[۲۷]</sup> یک مدل برنامه‌ریزی احتمالی به منظور طراحی زنجیره‌ی تأمین بیودیزل با در نظر گرفتن ریسک ارائه کرده‌اند. در مدل پیشنهادی آنها، هزینه‌ی کل در کنار اثر زیست‌محیطی تمام مراحل زنجیره کمی‌سازی می‌شود. همچنین تاگنتی و همکاران<sup>[۲۸]</sup> یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه را به منظور اندازه‌گیری عملکرد اقتصادی با استفاده از ارزش خالص فعلی و عملکرد زیست‌محیطی از طریق پتانسیل گرمای جهانی پیاده‌سازی کردند. با در نظر گرفتن هر سه بعد پایداری، میرت و همکاران<sup>[۲۹]</sup> نیز طراحی بهینه‌ی از زنجیره‌ی تأمین بیواتانول با اهداف کمی‌سازی هزینه‌ها و هزینه‌های سازگار با محیط‌زیست<sup>۳</sup> و نیز بیشینه‌سازی فرصت‌های شغلی ایجاد شده به عنوان اهداف پایداری ارائه دادند. هزینه‌های سازگار با محیط‌زیست نشان دهنده‌ی بار زیست‌محیطی یک محصول در طی چرخه‌ی عمرش است. از چالش‌های اصلی در مطالعه زنجیره‌های تأمین با در نظر گرفتن هر سه بعد پایداری، تعریف کمی معیارهای اجتماعی به صورت تحلیل‌پذیر است؛ بنابراین بعد اجتماعی زنجیره‌ی تأمین در مقایسه با ابعاد اقتصادی و زیست‌محیطی کمتر مورد توجه بوده است.<sup>[۸]</sup> تقریباً تمام مطالعات بررسی شده در جدول ۱ با هدف بیشینه‌سازی فرصت‌های شغلی ایجاد شده و در کل مرتبط با منابع انسانی‌اند.<sup>[۲۹،۲۵،۲۱،۱۷]</sup> جانشینی تقاضا نیز آخرین سرفصلی است که در جدول ۱ بررسی شده است. از فرض جانشینی تقاضا بیشتر در زمینه‌ی مدل‌های موجودی و (نه زنجیره‌های تأمین) استفاده شده است و در نظر گرفتن آن در مدل پیشنهادی این مقاله به همراه پس‌افت جزئی منجر به تعریف معادلات تعادل موجودی به شکل نوینی شده است که در مطالعات انجام شده در پیشینه کمتر مشاهده می‌شود. با توجه به آنچه ذکر شد، نوآوری‌های مقاله حاضر به طور خلاصه بدین قرار است:

- با توجه به این‌که ۱۳ درصد از مطالعات در حوزه‌ی زنجیره‌ی تأمین پایدار در زمینه‌ی محصولات کشاورزی و مواد غذایی و نوشیدنی است<sup>[۸]</sup> و با در نظر داشتن نقش انکارناپذیر تولید مواد کشاورزی بر استفاده از منابع انرژی، اقتصاد و پایداری جوامع قطعاً نیاز بیشتری به مطالعه‌ی این محصولات وجود دارد. در این تحقیق محصولات کشاورزی از نظر نوع تولید، ارگانیک و شیمیایی و با استفاده از ابزارهای کمی و ریاضی بررسی شده‌اند که در مقالات قبلی از این منظر به ندرت مورد توجه قرار گرفته‌اند.
- تعداد محدودی از مطالعات، پدیده‌ی زوال‌پذیری محصولات را مدنظر قرار داده‌اند.<sup>[۳۰،۱۵]</sup> با توجه به اهمیت اقتصادی و زیست‌محیطی این پدیده، در این مقاله به منظور مدل‌سازی پدیده‌ی زوال‌پذیری محصولات و برنامه‌ریزی برای کاهش هرچه بیشتر فساد مواد، سه مفهوم زوال موجودی در انبار و زوال در راه و تابع غیرخطی هزینه‌ی نگهداری مد نظر قرار گرفته‌اند.
- جانشینی تقاضا نیز از موضوعاتی است که در دنیای واقعی بسیار صورت می‌پذیرد. در بسیاری از مواقع، زمانی که کالای مورد نیاز مشتری در بازار وجود نداشته باشد، ترجیح می‌دهد تا نیاز خود را با کالایی مشابه برآورده سازد. در این تحقیق، ایده‌ی جانشینی محصول ارگانیک به جای شیمیایی در مدل گنجانده شده است؛ به عبارت دیگر فرض شده است که اگر تقاضاهای محصول شیمیایی با کمبود مواجه شوند درصدی از مشتریان ترجیح می‌دهند محصول ارگانیک را خریداری کنند. با توجه به این‌که ویژگی‌های محصولات ارگانیک تمام ویژگی‌های محصولات شیمیایی را تحت پوشش قرار می‌دهند، معمولاً افرادی که محصولات ارگانیک استفاده می‌کنند تمایلی به مصرف محصولات شیمیایی ندارند؛ بنابراین جانشینی محصول شیمیایی به جای ارگانیک در نظر گرفته نشده است.
- در نظر گرفتن کمبود به صورت پس‌افت جزئی در کنار موضوع جانشینی محصولات منجر به تعریف معادلات تعادل موجودی به شکل نوینی شده است.
- بیشتر توابع هدف اجتماعی که در تحقیقات گذشته بررسی شده‌اند، در زمینه‌ی مزایای اجتماعی و افزایش رفاه جامعه در نظر گرفته شده است؛ اما در این تحقیق به دنبال بیشینه‌سازی سطح سلامت اجتماعی هستیم. گزارش شده است که احتمال بروز عارضه‌ی چاقی و اضافه وزن در افرادی که میزان استفاده از مواد ارگانیک در رژیم غذایی‌شان پایین است ۳۱ درصد نسبت به افرادی که این مواد را بیشتر مصرف می‌کنند، بیشتر است.<sup>[۳۱]</sup> تابع هدف پیشنهادی به صورت تابعی از سلامت جامعه و محیط‌زیست تعریف شده است که وابسته به تولید، مصرف و پسماند محصولات ارگانیک و شیمیایی است. تابع هدف اجتماعی پیشنهادی در مقالات گذشته کمتر دیده شده است.

### ۳. تعریف مسئله

مسئله‌ی مورد مطالعه در این مقاله شامل زنجیره‌ی تأمین متمرکز و دوسطحی متشکل از یک تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش است. تأمین‌کننده تعدادی محصول مشابه به صورت ارگانیک و شیمیایی تولید می‌کند. همچنین یک خرده‌فروش با تقاضای مشخص و با ظرفیت معلوم برای سفارش محصولات ارگانیک و شیمیایی در نظر گرفته شده است. به دلیل ماهیت زوال‌پذیر بودن محصولات، درصدی از آنها در حین حمل و درصدی در پایان هر دوره (در صورت وجود موجودی در انبار) توسط خرده‌فروش دفع می‌شوند که باعث انتشار گازهای گلخانه‌یی می‌شود و چه بسا اثرات جبران‌ناپذیری به محیط‌زیست وارد سازد.

کمبود محصول ارگانیک صرفاً به دو شکل پس‌افت (با درصد  $a_c$ ) و از دست رفته (با درصد  $a_c = 1 - a_c$ ) خواهد بود. مقدار کمبود باقی‌مانده پس از جانشینی نیز تماماً به صورت پس‌افت و با انتقال به دوره‌ی بعد پاسخ داده می‌شود.

سایر فرض‌های در نظر گرفته شده برای فرمول‌بندی مسئله به شرح زیر است:

- مدل چنددوره‌یی، تک‌محصولی و با دو نوع مختلف روش تولید است.
- ظرفیت خرده‌فروش برای هر بار سفارش‌دهی به صورت محدود و ثابت در نظر گرفته شده است.

- مقدار موجودی اولیه‌ی محصولات ارگانیک و شیمیایی ( $IL^0$ ) بدون از دست دادن کلیت مسئله برابر با صفر در نظر گرفته شده است.

- هزینه‌ی حمل‌ونقل برای محصولات ارگانیک و شیمیایی با توجه به یکسان بودن وسیله‌ی نقلیه مساوی است.

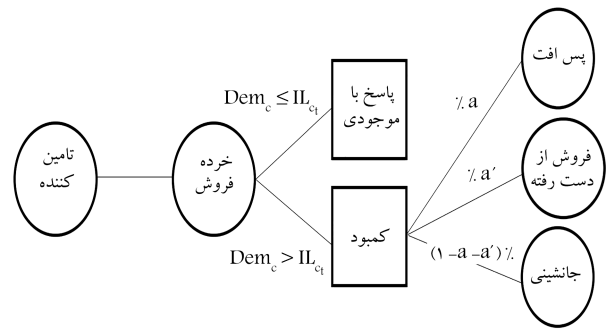
- هزینه‌ی راه‌اندازی در نظر گرفته شده در زنجیره‌ی تأمین کشاورزی مدنظر، به معنای هزینه‌های لازم در راستای آماده‌سازی پیش‌نیازهای مورد نیاز زمین‌های زیر کشت محصولات ارگانیک و شیمیایی قبل از شروع تولید است. مثلاً به منظور تولید محصولات ارگانیک نیاز به انجام پیش‌نیازهایی نظیر این‌که تا سه سال قبل از کشت محصولات ارگانیک نباید در آن زمین‌ها محصولی کشت شود، وجود دارد همچنین با توجه به زمان‌بر بودن به عمل آوردن این محصولات، لازم است که هزینه‌های مربوط به آن در نظر گرفته شود. این هزینه وابسته به دوره‌های زمانی در نظر گرفته شده است؛ زیرا در دوره‌های مختلف شرایط جوی متفاوت است و هزینه‌های راه‌اندازی متفاوتی را می‌تواند بر زنجیره‌ی تحمیل کند.

- با توجه به خاصیت زوال‌پذیر بودن محصولات در نظر گرفته شده، هزینه‌ی نگهداری به ازای هر دو نوع محصول ارگانیک و شیمیایی به صورت پله‌یی و غیرخطی و تابعی صعودی از سطح موجودی تعریف شده است که به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$HC_s = \begin{cases} HC_{s_1} & 0 \leq SIL_t \leq K_1 \\ HC_{s_2} & K_1 \leq SIL_t \leq K_2 \\ \vdots & \vdots \\ HC_{s_w} & K_{w-1} \leq SIL_t \leq K_w \end{cases}, \forall t \quad (1)$$

$$HC_c = \begin{cases} HC_{c_1} & 0 \leq IL_t \leq A_1 \\ HC_{c_2} & A_1 \leq IL_t \leq A_2 \\ \vdots & \vdots \\ HC_{c_v} & A_{v-1} \leq IL_t \leq A_v \end{cases}, \forall t \quad (2)$$

در رابطه‌ی ۱،  $SIL_{ot}$  سطح موجودی محصول ارگانیک در خرده‌فروش در دوره‌ی  $t$  است. مثلاً چنانچه مقدار  $SIL_{ot}$  بین صفر و  $K_1$  قرار گیرد، هزینه‌ی



شکل ۱. نحوه‌ی برآوردن محصولات شیمیایی با در نظر گرفتن کمبود و جانشینی.

همچنین فرایند تولید آنها نیز بسته به نوع تولید (ارگانیک یا شیمیایی) منجر به انتشار گازهای گلخانه‌یی و تخریب محیط زیست خواهد شد. به علاوه فرض جانشینی تقاضا نیز در نظر گرفته شده است؛ به این صورت که با توجه به برتری و ویژگی‌های محصولات ارگانیک نسبت به شیمیایی، این فرض وجود دارد که اگر مصرف‌کنندگان با کمبود محصولات شیمیایی مواجه شوند درصدی از آنها ترجیح می‌دهند که محصولات ارگانیک را جانشین تقاضای محصول شیمیایی کنند. متغیرهای تصمیم موردنظر در این مسئله شامل میزان تولید و مصرف محصول ارگانیک و همچنین مقدار موجودی/کمبود و میزان سفارش‌های هر نوع از محصولات است. اهداف سه‌گانه‌ی مسئله (۱) کمیته‌سازی هزینه‌های مختلف زنجیره، (۲) کمیته‌سازی انتشارات گازهای گلخانه‌یی ناشی از عملیات تولید، حمل‌ونقل و دفع و (۳) بیشینه‌سازی ارتقای سطح سلامت اجتماعی است که در بخش بعد به تفصیل توضیح داده خواهد شد. شکل ۱ نمای کلی از زنجیره‌ی تأمین مدنظر برای محصولات کشاورزی شیمیایی را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، پارامترهای  $a_c$  و  $a_c$  نشان دهنده‌ی درصد تقاضای برآورده و  $\theta$  به صورت زیر قابل تعریف هستند.  $a_c$  نشان دهنده‌ی درصد تقاضای برآورده نشده/کمبود است که پس‌افت می‌شوند و  $\hat{a}_c$  بیان‌گر درصد تقاضای ارضا نشده است که به صورت فروش از دست رفته ظاهر می‌شوند.  $Dem_c$  تقاضای محصول شیمیایی و  $IL_t$  موجودی این محصول در دوره‌ی  $t$  است.  $\theta$  نیز پارامتری است که نشان دهنده‌ی درصد مشتریانی است که محصول ارگانیک را جانشین محصول شیمیایی می‌کنند. در صورتی که تقاضای محصولات شیمیایی (مصرف‌کننده‌ی نهایی) کمتر از میزان موجودی در خرده‌فروش باشد، تقاضا با همان موجودی پاسخ داده می‌شود در غیر این صورت خرده‌فروش با کمبود موجودی مواجه خواهد شد.

در این حالت درصدی از تقاضاها به صورت پس‌افت ( $a_c$ )، درصدی دیگر به صورت فروش از دست رفته ( $\hat{a}_c$ ) و درصدی از مانده کمبود  $(1 - a_c - \hat{a}_c)\theta$  از طریق جانشینی پاسخ داده می‌شود. به بیان دیگر چنانچه در مورد محصول شیمیایی با کمبود مواجه شویم، درصدی از تقاضاهای ارضانشده صبر می‌کنند تا دور بعد تقاضای خود را از طریق زنجیره‌ی تأمین کنند ( $a_c$ )، درصدی از آنها ترجیح می‌دهند تا نیاز خود را از طریق سایر واحدهای خرده‌فروشی تأمین کنند ( $\hat{a}_c$ ) و درصدی از افراد ( $\theta$ ) ترجیح می‌دهند تا نیاز خود را از طریق محصولات ارگانیک تأمین کنند (جانشینی تقاضا) اگر موجودی مازادی از محصولات ارگانیک وجود داشته باشد. البته درصدی ( $\theta$ ) از تقاضای مشتریان جایگزین می‌شود و بقیه‌ی آن‌که برابر با مقدار  $(1 - \theta)(1 - a_c - \hat{a}_c)$  است یا به دوره‌ی بعد انتقال می‌یابد یا به صورت فروش از دست رفته تلقی می‌شود. همان‌طور که در بخش قبل توضیح داده شد، جانشینی تقاضا در مورد محصولات ارگانیک صورت نمی‌گیرد. بنابراین

نگهداری معادل  $HC_{10}$  برای هر واحد محصول است و اگر بین  $K_1$  و  $K_2$  قرار گیرد هزینه معادل  $HC_{20}$  و به همین ترتیب هنگامی که بین  $K_{w-1}$  و  $K_w$  قرار گیرد  $HC_{w0}$  واحد هزینه به خرده‌فروش تحمیل می‌شود. در معادله‌ی ۲ نیز همین شرایط برای محصولات شیمیایی برقرار است. باید خاطر نشان کرد که  $0 \leq HC_{1c} < HC_{2c} < \dots < 0 \leq HC_{10} < HC_{20} < \dots < HC_{w0}$  می‌باشد. همچنین  $0 < A_1 < 0 < K_1 < K_2 < \dots < K_w$  و  $0 < A_1 < \dots < A_j$  به ترتیب نشان دهنده‌ی بازه‌های موجودی محصولات ارگانیک و شیمیایی‌اند.

### ۳.۱. نمادگذاری

در ادامه به تعریف نمادها، پارامترها و متغیرهای تصمیم استفاده شده در مدل پرداخته می‌شود.

اندیس‌ها:

$z$ : شناسه‌ی محصول شیمیایی و ارگانیک  $\{o, c\} \in z$ ؛

$t$ : شناسه‌ی دوره‌های زمانی  $\{1, 2, \dots, T\} \in t$ ؛

$w, v$ : مجموعه‌ی تعداد ضابطه در تابع هزینه نگهداری  $w \in \{1, 2, \dots, V\}$ ,  $v \in \{1, 2, \dots, W\}$ .

پارامترها:

$HC_z$ : هزینه نگهداری محصول  $z$  در خرده‌فروش؛

$P_z$ : هزینه تولید هر واحد محصول  $z$ ؛

$S_{jt}$ : هزینه راه‌اندازی محصول  $z$  در دوره  $t$  اگر تولید صورت بگیرد؛

$CSU$ : هزینه واحد جانشینی استفاده از محصول ارگانیک به منظور برآوردن تقاضای محصول شیمیایی در هر دوره؛

$\pi_z$ : هزینه کمبود به ازای هر واحد تقاضای پس‌افت برای محصول  $z$ ؛

$\pi'_z$ : هزینه کمبود به ازای هر واحد فروش از دست رفته برای محصول  $z$ ؛

$Dem_{jt}$ : تقاضای خرده‌فروش برای محصول  $z$  در دوره  $t$ ؛

$CA_z$ : ظرفیت نگهداری محصولات ارگانیک و شیمیایی در خرده‌فروش؛

$CT_z$ : هزینه حمل‌ونقل از تأمین‌کننده به خرده‌فروش برای محصول  $z$ ؛

$\alpha_z$ : درصد تقاضای پس‌افت برای محصول  $z$  در خرده‌فروش؛

$\alpha'_z$ : درصد فروش از دست رفته برای محصول  $z$  در خرده‌فروش؛

$m_z$ : ضریب دفع محصولات ارگانیک و شیمیایی در خرده‌فروش؛

$w_z$ : ضریب دفع محصولات ارگانیک و شیمیایی در حین حمل

$CD_z$ : هزینه دفع هر واحد محصول ارگانیک خراب شده در خرده‌فروش؛

$GEP_{it}$ : میزان انتشار گازهای گلخانه‌یی ناشی از تولید هر واحد محصول  $z$  در دوره  $t$ ؛

$GED_{it}$ : میزان انتشار گازهای گلخانه‌یی ناشی از دفع هر واحد محصول  $z$  در دوره  $t$ ؛

$GET$ : میزان انتشار گازهای گلخانه‌یی تولیدی ناشی از حمل محصولات؛

$\theta$ : درصدی از مشتریان که محصول ارگانیک را جانشین محصول شیمیایی می‌کنند؛

$\delta$ : ضریب تأثیر مصرف محصول ارگانیک بر سلامت اجتماعی؛

$\gamma$ : ضریب تأثیر مصرف محصول شیمیایی بر سلامت اجتماعی؛

$\rho_z$ : درصد تأثیر پسماند محصول  $z$  بر سلامت محیط‌زیست

$\delta'$ : ضریب تأثیر تولید محصول ارگانیک بر سلامت اجتماعی؛

$\gamma'$ : ضریب تأثیر تولید محصول شیمیایی بر سلامت اجتماعی؛

$K, A$ : پارامترهای صحیح مثبت؛

$M$ : عدد بسیار بزرگ.

متغیرهای تصمیم:

$BIL_t$ : سطح موجودی مواد ارگانیک در پایان دوره  $t$  قبل از جانشینی؛

$SIL_t$ : سطح موجودی مواد ارگانیک در پایان دوره  $t$  پس از جانشینی؛

$SU_t$ : تقاضای شیمیایی جایگزین شده با محصول ارگانیک در دوره  $t$ ؛

$IL_t$ : سطح موجودی محصول شیمیایی در خرده‌فروش در پایان دوره  $t$ ؛

$AP_{jt}$ : میزان تولید محصول  $z$  در دوره  $t$ ؛

$B_{jt}$ : کمبود محصول  $z$  در انتهای دوره در خرده‌فروش؛

$CS_j$ : مقدار مصرف محصول  $z$ ؛

$Q_{jt}$ : مقدار محصول  $z$  رسیده به خرده‌فروش در دوره  $t$ ؛

$\varphi_{jt}$ : مقدار محصول نوع  $z$  زوال یافته در حین حمل در دوره  $t$ ؛

$X_{jt}$ : متغیری دودویی است که در صورتی که مقدار یک بگیرد هزینه راه‌اندازی

معادل  $S_{jt}$  خواهیم داشت. در غیر این صورت این هزینه برابر با صفر خواهد بود؛

$L_t$ : متغیر دودویی استفاده شده به منظور خطی سازی مقدار جانشینی. در صورتی که

این متغیر مقداری برابر با یک بگیرد مقدار جانشینی برابر است با مقدار تقاضایی که

جانشین می‌شود. در غیر این صورت مقدار جانشینی برابر با مقدار موجودی ارگانیک

در انبار خواهد شد؛

$R_{jt}$ : متغیر دودویی که اگر برابر صفر باشد، موجودی محصول  $z$  در دوره  $t$  برابر

صفر و در غیر این صورت کمبود آن برابر صفر است؛

$\sigma_{vet}, \beta_{wot}$ : متغیرهای دودویی که به ترتیب برای خطی‌سازی هزینه نگهداری

محصولات ارگانیک و شیمیایی استفاده شده است؛

$Y_{vet}, U_{wot}$ : متغیرهای غیرمنفی استفاده شده در خطی‌سازی نگهداری محصولات

ارگانیک و شیمیایی که نشان دهنده‌ی مجموع موجودی در تمام ضوابط تعریف شده

تابع هزینه نگهداری هستند.

### ۴. مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه

با استفاده از نمادهای معرفی شده در بخش قبل، مدل پیشنهادی به صورت زیر فرمول نویسی شده است:

$$\begin{aligned} MIN Z_1 = & \sum_t \sum_j (S_{jt}.X_{jt} + P_j.AP_{jt} + Q_{jt}.CT_j \\ & + B_{jt}.(\pi_j.\alpha_j + \pi'_j.\alpha'_j)) + \\ & \sum_t (((1 - \alpha_c - \alpha'_c)B_{ct} - SU_t) \cdot \\ & (\pi_c.\alpha_c + \pi'_c.(1 - \alpha_c))) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & + \sum_t (CD_c.(m_c.IL_t + \varphi_{ct}) + CD_o.(m_o.SIL_t + \varphi_{Dt})) \\ & + \sum_t (U_{wot}.HC_{wo} + Y_{vet}.HC_{vc} + CSU.SU_t) \\ MIN Z_2 = & \sum_t [(AP_{ct}.GEP_{ct} - AP_{ot}.GEP_{ot}) + \\ & ((Q_{ot} + Q_{ct}).GET) + ((m_o.SIL_t + \varphi_{ot}).GED_o) + \\ & ((m_c.IL_t + \varphi_{ct}).GED_c)] \end{aligned} \quad (4)$$

هزینه‌ی حمل هرکدام از محصولات به خرده‌فروش می‌باشند. جمله‌ی چهارم مربوط به هزینه‌ی کمبود پس‌افت و فروش از دست رفته بر روی هر دو محصول قبل از جانشینی و عبارت پنجم در ارتباط با هزینه‌ی کمبود باقی‌مانده بعد از جانشینی است. جملات ششم و هفتم مرتبط با هزینه‌ی دفع محصولات زوال‌یافته‌ی شیمیایی و ارگانیک، عبارات هشتم و نهم مربوط به هزینه‌ی نگهداری هرکدام از محصولات و در نهایت عبارت آخر نیز مربوط به هزینه‌ی جانشینی محصولات ارگانیک است. در رابطه‌ی ۴ هدف کمیته‌سازی میزان انتشارات گازهای گلخانه‌ی ناشی از عملیات تولید محصولات ارگانیک و شیمیایی، حمل این محصولات و دفع محصولات زوال یافته در حین حمل و در انبار است. با توجه به این‌که استفاده از سیستم کشاورزی ارگانیک راهبردی به منظور کاهش کربن دی اکسید ناشی از فرسایش خاک و ورودی‌های شیمیایی نظیر کودها شناخته می‌شود<sup>[۳۱]</sup>، در تابع زیست‌محیطی عبارت گازهای گلخانه‌ی مرتبط با تولید یعنی  $(AP_{ot}.GEP_{ot})$  با اثر مثبت و در جهت هدف زیست‌محیطی تعریف شده یعنی کمیته‌سازی گازهای گلخانه‌ی در نظر گرفته شده است. بقیه‌ی فعالیت‌ها یعنی تولید محصولات شیمیایی، حمل‌ونقل و دفع هرکدام از این محصولات منجر به افزایش گازهای گلخانه‌ی و تشدید افزایش دمای کره‌ی زمین و گرمایش جهانی هستند. رابطه‌ی ۵ که تابع هدف مربوط به سلامت اجتماعی است و به صورت تابعی از سلامت جامعه و سلامت محیط‌زیست محاسبه شده است. جمله‌ی اول در این معادله در ارتباط با مصرف محصولات، جمله‌ی دوم و سوم در ارتباط با میزان تولید و پسماند است. همان‌طور که قابل مشاهده است، ضرایب مربوط به میزان مصرف، تولید و دفع محصولات شیمیایی به دلیل اثرات منفی این محصولات از همان مرحله‌ی تولید تا دفع و زوال بر سلامت با علامت منفی مشخص شده است؛ اما محصولات ارگانیک به دلیل طبیعی و سالم بودن و با توجه به هم‌راستا بودن با هدف مدنظر ما، جملات مربوط به این محصولات با علامت مثبت نمایش داده شده‌اند. ضرایب ثابت تعریف شده، بیان‌گر درصد تأثیر میزان مصرف، تولید و پسماند بر سلامت جامعه و محیط‌زیست هستند و اعدادی بین صفر و یک‌اند. محدودیت ۶ مربوط به ظرفیت خرده‌فروش است به گونه‌ی که مقدار محصول حمل شده در هر دوره باید با توجه به ظرفیتش صورت گیرد. محدودیت ۷ در ارتباط با هزینه‌ی راه‌اندازی است و برابر با مقدار  $S_{jt}$  است در صورتی‌که تولید  $(AP_{jt})$  رخ دهد. بر اساس محدودیت ۷ هزینه‌ی راه‌اندازی در هر دوره فقط زمانی رخ می‌دهد که مقدار تولید مثبت باشد. پس هزینه‌ی راه‌اندازی در دوره‌ی  $t$  تابع هدف اقتصادی به صورت  $X_{jt}$ ، بیان شده که متغیری دودویی است. عبارات ۸ و ۹ به ترتیب بیان‌گر مقدار محصولات زوال‌یافته در حین حمل و مقدار محصول رسیده به دست خرده‌فروش است. بر اساس محدودیت ۱۰، میزان موجودی قبل از جانشینی (کمبود) محصول جانشینی (در انتهای دوره‌ی  $t$  برابر است با میزان موجودی سالم باقی‌مانده از دوره‌ی قبل بعد از جانشینی در خرده‌فروش  $(1-m_o).SIL_{(t-1)}$ ) به علاوه میزان سفارش دریافت شده در دوره‌ی  $t$  در خرده‌فروش  $(Q_{ot})$  منهای احتیاجات دوره‌ی  $t$  شامل  $i$  تقاضای دوره‌ی  $t$  در خرده‌فروش  $(Dem_{ot})$ ، و  $ii$ ) تقاضای عقب افتاده‌ی دوره‌ی قبل  $(\alpha_o.B_o(t-1))$ . رابطه‌ی ۱۱ تعادل موجودی ارگانیک قبل و بعد جانشینی تقاضای شیمیایی را نشان می‌دهد. معادلات ۱۲-۱۵ محدودیت‌های خطی‌سازی مقدار جانشینی در هر دوره را نشان می‌دهند که برابر با کمیته‌ی میزان موجودی در انبار از محصول ارگانیک  $(BIL_t)$  و درصدی از تقاضای شیمیایی که حاضر به استفاده از محصول جانشین هستند،  $\theta.(\alpha_c - \alpha'_c).B_{ct}$  است. محدودیت ۱۶ نیز معادله‌ی تعادل موجودی محصول شیمیایی در خرده‌فروش را نشان می‌دهد. محدودیت‌های ۱۷-۱۸ نیز نشان می‌دهد که کمبود و موجودی

$$MAX Z_T = \delta.C.S_o - \gamma.C.S_c + \sum_t ((AP_{ot}.\delta' - AP_{ct}.\gamma') + ((m_o.SIL_t + \varphi_{ot}).\rho_o) - ((m_c.IL_t + \varphi_{ct}).\rho_c)) \quad (5)$$

$$Q_{jt} \leq C A_j, \quad \forall j, t \quad (6)$$

$$\frac{X_{jt}}{M} \leq AP_{jt} \leq M.X_{jt} \quad \forall j, t \quad (7)$$

$$\varphi_{jt} = \omega_j.AP_{jt}, \quad \forall j, t \quad (8)$$

$$Q_{jt} = (\lambda - \omega_j).AP_{jt}, \quad \forall j, t \quad (9)$$

$$BIL_t - B_{ot} = (\lambda - m_o).SIL_{(t-1)} + Q_{ot} - Dem_{ot} - \alpha_o.B_o(t-1) \quad \forall t \quad (10)$$

$$SIL_t = BIL_t - SU_t \quad \forall t \quad (11)$$

$$BIL_t - M.L_t \leq SU_t \leq BIL_t + M.L_t \quad \forall(t) \quad (12)$$

$$BIL_t \leq \theta.(\lambda - \alpha_c - \alpha'_c).B_{ct} + M.L_t m \quad \forall(t) \quad (13)$$

$$\theta.(\lambda - \alpha_c - \alpha'_c).B_{ct} - M.(\lambda - L_t) \leq SU_t \leq \theta.(\lambda - \alpha_c - \alpha'_c).B_{ct} + M.(\lambda - L_t) \quad \forall t \quad (14)$$

$$\theta.(\lambda - \alpha_c - \alpha'_c).B_{ct} - M.(\lambda - L_t) \leq BIL_t \quad (15)$$

$$IL_t - B_{ct} = (\lambda - m_c).IL_{(t-1)} + Q_{ct} - Dem_{ct} \quad \forall t - \alpha_c.(B_{c(t-1)} + (\lambda - \alpha_c - \alpha'_c).B_{c(t-1)} - SU_{(t-1)}) \quad \forall t \quad (16)$$

$$B_{ot} \leq M.R_{ot} \quad \forall t \quad (17)$$

$$BIL_t \leq M.(\lambda - R_{ot}) \quad \forall t \quad (18)$$

$$B_{ct} \leq M.R_{ct} \quad \forall t \quad (19)$$

$$IL_t \leq M.(\lambda - R_{ct}) \quad \forall t \quad (20)$$

$$(\lambda - m_o).SIL_t = \sum_w U_{wot} \quad \forall t \quad (21)$$

$$\beta_{wot}.K_{w-1} \leq U_{wot} \leq \beta_{wot}.K_w \quad \forall t, w \quad (22)$$

$$\sum_w \beta_{wot} = \lambda \quad \forall t \quad (23)$$

$$(\lambda - m_c).IL_t = \sum_v Y_{vct} \quad \forall t \quad (24)$$

$$\sigma_{vct}.A_{v-1} \leq Y_{vct} \leq \sigma_{vct}.A_v \quad \forall t, v \quad (25)$$

$$\sum_v \sigma_{vct} = \lambda \quad \forall t \quad (26)$$

$$C.S_o = ILO_o + \sum_t (Q_{ot} - m_o.SIL_t) - SIL_T \quad (27)$$

$$C.S_c = ILO_c + \sum_t (Q_{ct} - m_c.IL_t) - IL_T \quad (28)$$

$$R_{jt}, X_{jt}, \beta_{wot}, \sigma_{vct}, L_t \in \{0, \lambda\} \quad \forall j, t, v, w \quad (29)$$

$$BIL_t, SIL_t, IL_t, SU_t, AP_{jt}, B_{jt}, Q_{jt}, C.S_j, \varphi_{jt}, U_{wot}, Y_{vct} \geq 0 \quad \forall j, t, v, w \quad (30)$$

رابطه‌ی ۳ که در پی کمیته‌سازی هزینه‌های کل زنجیره‌ی تأمین است شامل ده عبارت هزینه‌ی است: جملات اول و دوم مربوط به هزینه‌ی راه‌اندازی (آماده‌سازی) و هزینه‌ی تولید محصول  $z$  در تأمین‌کننده است. عبارت سوم نیز در ارتباط با

محصول ارگانیک به صورت هم‌زمان نمی‌تواند مقدار مثبت بگیرند. محدودیت‌های ۱۹-۲۰ به طور مشابه برای محصول شیمیایی تعریف شده‌اند. همان طور که ذکر شد هزینه نگهداری هر واحد از محصولات مطابق معادلات ۱ و ۲ به صورت صعودی و پله‌یی در نظر گرفته شده است. به منظور خطی‌سازی این هزینه برای محصولات ارگانیک، باید یک متغیر دودویی  $\beta_{wot}$  و یک متغیر غیرمنفی  $U_{wot}$  تعریف شده و محدودیت‌های ۲۱-۲۳ به مدل افزوده شوند. متغیر دودویی  $\sigma_{vct}$  و متغیر غیرمنفی  $Y_{vct}$  محدودیت‌های ۲۴-۲۶ برای خطی‌سازی هزینه نگهداری محصولات شیمیایی به مدل اضافه شده‌اند. محدودیت‌های ۲۷-۲۸ به ترتیب بیان‌گر میزان مصرف از محصول ارگانیک و شیمیایی می‌باشند. محدودیت‌های ۲۹-۳۰ نیز نمایان‌گر نوع متغیرها هستند.

## ۵. تحلیل عددی

به منظور بررسی کارایی مدل پیشنهادی در این بخش تحلیل عددی و تحلیل حساسیت برای یک مسئله برگرفته از دنیای واقعی ارائه شده است. داده‌های مورد استفاده مربوط به محصول گوجه‌فرنگی است که با دو روش مختلف تولید یعنی ارگانیک و شیمیایی توسط تأمین‌کننده در شهر دماوند تولید شده و مطابق با سفارش خرده‌فروش به تهران ارسال می‌شود تا نیازهای مصرف‌کننده‌ی نهایی برآورده شود. در این مطالعه، یک زنجیره‌ی تأمین با دو سطح، متشکل از یک تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش بررسی شده است. تولید هر کیلوگرم گوجه‌فرنگی ارگانیک و شیمیایی ۷۵ و ۵۰ واحد پولی (هر ۱۰۰ تومان یک واحد پولی در نظر گرفته شده است) هزینه برای تأمین‌کننده در پی دارد. با توجه به زوال‌پذیر بودن محصول مدنظر، افق برنامه‌ریزی برابر با ۳ دوره در نظر گرفته شده است. هزینه نگهداری در خرده‌فروش به صورت پله‌یی، صعودی و تابعی از سطح موجودی است. مثلاً، در صورتی که مقدار موجودی محصول ارگانیک در هر دوره در خرده‌فروش بین صفر تا ۸۰ واحد باشد، هزینه‌ی معادل ۱۰ واحد پولی برای نگهداری این محصولات به خرده‌فروش تحمیل می‌شود. اگر مقدار موجودی بیشتر از ۸۰ واحد باشد، به دلیل نیاز به تجهیزات بیشتر و با قیمت بالاتر یا حتی به دلیل اجاره‌ی مکانی بزرگ‌تر برای نگهداری محصولات، خرده‌فروش با افزایش ۴ واحدی در هزینه‌ی نگهداری روبرو خواهد شد. به همین ترتیب هزینه‌ی نگهداری برای محصولات شیمیایی نیز قابل توضیح است.

$$HC_O = \begin{cases} 10 & 0 < SIL_t \leq 80 \\ 14 & 80 < SIL_t \end{cases} \quad (31)$$

$$HC_C = \begin{cases} 11 & 0 < IL_t \leq 1000 \\ 16 & 1000 < IL_t \end{cases} \quad (32)$$

در پایان هر دوره درصدی از محصولات باقیمانده در خرده‌فروش ضایع می‌شوند

و با عنوان ضریب دفع تعریف شده‌اند. در خرده‌فروش، ۱/۵ درصد از محصولات ارگانیک و ۲/۵ درصد از محصولات شیمیایی زوال می‌یابند. همچنین ۲ درصد از محصولات ارگانیک و ۵ درصد محصولات شیمیایی در حین حمل زوال می‌یابند. تقاضا برای محصولات ارگانیک در خرده‌فروش در سه دوره به ترتیب برابر با ۷۳۰۰، ۶۲۰۰ و ۸۵۰۰ است. همچنین تقاضای محصول شیمیایی نیز در هر سه دوره معادل ۸۰۰۰، ۴۵۰۰ و ۸۰۰۰ واحد در نظر گرفته شده است. هزینه‌ی راه‌اندازی به منظور تولید گوجه‌فرنگی ارگانیک در طول سه دوره افق برنامه‌ریزی برابر با ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۰۰ واحد پولی و این مقدار برای محصول شیمیایی برابر با ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ واحد پولی در نظر گرفته شده است. سطوح گازهای گلخانه‌یی تولیدی ناشی از عملیات تولید، دفع و حمل برحسب گرم به ازای هر واحد محصول ارگانیک و شیمیایی در جدول ۲ ارائه شده است. این پارامترها به صورت تخمینی و در این مورد خاص تعیین شده است. برای تعیین دقیق میزان سطح انتشارات گازهای گلخانه‌یی که وابسته به میزان مصرف سوخت و شرایط جاده و وسیله‌ی نقلیه است، می‌توان به مقاله‌ی سازور و همکاران<sup>[۱۸]</sup> رجوع کرد. شایان ذکر است که کارایی مدل‌های پیشنهادی وابسته به این مقادیر نیست.

با توجه به این‌که گازهای گلخانه‌یی ناشی از حمل‌ونقل به فاصله‌ی تأمین‌کننده با خرده‌فروش بستگی دارد برابر با مقدار ۴۰۰۰ گرم تخمین زده شده است. هزینه‌ی حمل‌ونقل محصولات ارگانیک و شیمیایی نیز با هم یکسان و برابر با ۱۵/۰ واحد پولی به ازای هر محصول تعریف شده است.

میزان موجودی اولیه برای محصولات ارگانیک و شیمیایی در خرده‌فروش برابر با صفر در نظر گرفته شده است. در صورتی که میزان تقاضا برای محصولات شیمیایی در برخی از دوره‌های زمانی بیشتر از موجودی در دسترس در هر خرده‌فروش باشد، مصرف‌کنندگان می‌توانند نیاز خود را به صورت پس‌افت، فروش از دست رفته، یا جانشینی برآورده سازند. فرض بر این است که ۶۵ درصد از مشتریان به منظور برآوردن نیاز خود، محصولات ارگانیک را جانشین می‌کنند؛ اما در صورت مواجه شدن مصرف‌کنندگان نهایی با کمبود محصول ارگانیک، آنها می‌توانند تقاضای خود را به دوره‌ی بعد موکول کنند یا نیاز خود را از طریق خرده‌فروشی دیگر برآورده سازند؛ بنابراین هزینه‌ی کمبود پس‌افت به ازای هر محصول ارگانیک و شیمیایی در خرده‌فروش به ترتیب برابر با ۲۵۰ و ۲۲۰ واحد پولی است. به همین ترتیب هزینه‌ی کمبود فروش از دست رفته ۲۷۰ و ۳۲۰ واحد پولی به ازای هر محصول ارگانیک و شیمیایی در نظر گرفته شده است. هزینه‌ی جانشینی محصولات ارگانیک نیز در سه دوره افق برنامه‌ریزی به ترتیب برابر با ۱۷، ۱۵ و ۱۸ واحد پولی است. درصد کمبود برای هر کدام از محصولات در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین حفظ و بهبود اعتبار زنجیره‌ی تأمین در بازار رقابتی امروز اهمیتی راهبردی برای مدیران دارد؛ بنابراین هزینه کمبود در زنجیره‌ی مدنظر بسیار زیاد در نظر گرفته شده است.

مدل‌سازی و کلیه‌ی محاسبات با استفاده از نرم‌افزار CPLEX ۱۲.۲ انجام شده است. به منظور حل مدل پیشنهادی برای مطالعه‌ی موردی مذکور از روش محدودیت اسپیلون تقویت شده استفاده شده است. بدین ترتیب تابع هدف اول یا

جدول ۲. میزان انتشارات گازهای گلخانه‌یی ناشی از تولید و دفع.

$GED_{jt}$			$GEP_{jt}$			دوره
$t = 3$	$t = 2$	$t = 1$	$t = 3$	$t = 2$	$t = 1$	
۳۲	۳۰	۲۷	۶۰	۵۵	۴۵	محصول ارگانیک o
۵۵	۵۰	۴۵	۸۰	۷۰	۶۰	محصول شیمیایی c



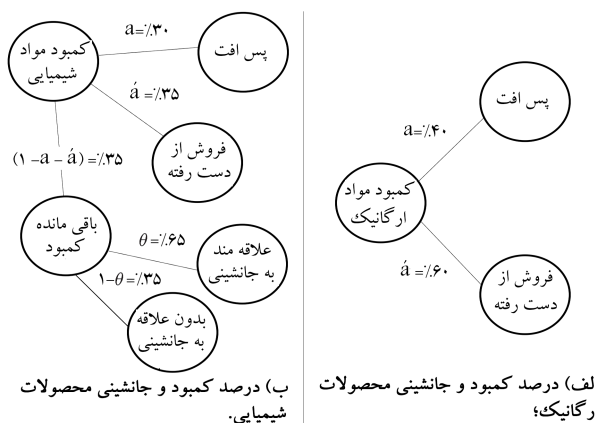


جدول ۵. میزان مصرف با افزایش گام‌های زیست‌محیطی و اجتماعی.

$\varepsilon_2 = 14955$	$\varepsilon_2 = 6357/8$	$\varepsilon_2 = -2239/4$	$\varepsilon_2 = -10836/6$	$\varepsilon_2 = -19433/8$	$\varepsilon_2 = -28031$							
c	o	c	O	c	o	c	o	c	O	c	o	
°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	$\varepsilon_2 = 0$
°	۸۵۶۱	۹۰	۸۴۴۳	۴۱۸۲	۴۲۳۱	۷۵۰۰	۸۲۰	۷۵۰۰	۸۲۰	۷۵۰۰	۸۲۰	$\varepsilon_2 = 3/23e + 7$
°	۱۷۱۰۲	۳۲۱۰	۱۳۷۸۰	۷۳۰۰	۹۵۶۴	۱۰۲۶۵	۶۵۰۰	۱۰۲۶۵	۶۵۰۰	۱۰۲۶۵	۶۵۰۰	$\varepsilon_2 = 6/75e + 7$
°	۱۹۵۰۰	۶۳۳۳	۱۹۱۲۰	۱۰۴۱۸	۱۴۸۹۷	۱۲۲۵۱	۱۳۰۰۰	۱۲۲۵۱	۱۳۰۰۰	۱۲۲۵۱	۱۳۰۰۰	$\varepsilon_2 = 1/0.1e + 8$
°	۱۹۵۰۰	۶۵۵۵	۱۹۵۰۰	۱۳۱۱۰	۱۹۵۰۰	۱۷۶۱۶	۱۵۹۹۷	۱۹۶۶۸	۱۳۸۶۷	۱۹۶۶۸	۱۳۸۶۷	$\varepsilon_2 = 1/35e + 8$
°	۱۹۵۰۰	۶۵۵۵	۱۹۵۰۰	۱۳۱۱۰	۱۹۵۰۰	۱۷۶۱۶	۱۵۹۹۷	۱۹۶۶۸	۱۳۸۶۷	۱۹۶۶۸	۱۳۸۶۷	$\varepsilon_2 = 1/69e + 8$

که با حداقل استفاده از منابع طبیعی و مواد سمی و همچنین انتشارات ضایعات و آلاینده‌ها در طول چرخه‌ی عمر محصول یا خدمت، پاسخ‌گوی نیازهای اصلی باشد و بتواند سطح کیفی زندگی افراد را بهبود بخشد به گونه‌ی که نیازهای نسل آینده را به مخاطره نیندازد» تعریف شده است. مصرف پایدار به عنوان بخشی از توسعه‌ی پایدار یک پیش‌نیاز در مبارزه‌ی جهانی علیه چالش‌هایی نظیر تغییرات آب‌وهوایی، آلودگی‌های زیست‌محیطی و غیره است؛ بنابراین، توجه به پایداری در مصرف می‌تواند به عنوان راهکاری در راستای بهبود شرایط آب و هوایی و کمک به ارتقای سلامت جامعه مورد توجه قرار گیرد. مقدار مصرف و تولید بهینه به ازای مقادیر مختلف  $\varepsilon_2$  و  $\varepsilon_3$  به ترتیب در جدول‌های ۵ و ۶ گزارش شده است. همان‌طور که از جدول ۵ مشخص است با افزایش مقدار گام زیست‌محیطی میزان مصرف افزایش می‌یابد. مثلاً زمانی که  $\varepsilon_2 = -28031$  است و در کمترین مقدار خود قرار دارد، با افزایش گام زیست‌محیطی، میزان مصرف گوجه‌فرنگی شیمیایی بیشتر از نوع ارگانیک آن است؛ اما رفته‌رفته با افزایش گام اجتماعی و در صورتی‌که  $\varepsilon_2 = 14955$  باشد، می‌توان مشاهده کرد که میزان مصرف محصول شیمیایی به کمینه‌ی مقدار خود یعنی صفر می‌رسد. همچنین با افزایش توجه به تابع سلامت و در صورتی‌که نتایج را به صورت افقی دنبال کنیم قابل مشاهده است که میزان مصرف محصولات شیمیایی و ارگانیک به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد تا به کمینه و بیشینه‌ی مقدار خود برسند؛ بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که افزایش توجه به پایداری و در نظر گرفتن ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی در زنجیره‌ی محصولات کشاورزی ارگانیک و البته در نظر گرفتن فرض جانشینی محصولات ارگانیک به جای شیمیایی نیز می‌تواند منجر به افزایش مصرف توسط مشتریان شود. افزایش آگاهی بخشی در میان تمام سطوح جامعه درباره‌ی فواید و مزایای محصول ارگانیک و تشویق آنها برای خرید این محصولات می‌تواند به عنوان راهکاری مؤثر مدنظر قرار گیرد.

میزان تولید گوجه‌فرنگی ارگانیک و شیمیایی در جدول ۶ گزارش شده است. در صورتی‌که توجه به تابع اجتماعی در کمترین مقدار خود قرار داشته باشد با افزایش گام زیست‌محیطی، میزان تولید هر دو نوع محصول افزایش می‌یابد اما میزان تولید گوجه‌فرنگی شیمیایی بیشتر است. در کل در هر دو حالت و با افزایش گام‌های زیست‌محیطی و اجتماعی، میزان تولید گوجه‌فرنگی ارگانیک به بیشینه‌ی مقدار خود یعنی ۶۶۳۳ واحد و همین مقدار برای گوجه‌فرنگی شیمیایی به کمینه‌ی مقدار خود یعنی صفر می‌رسد. اعداد بیان‌گر این موضوع هستند که الگوهای تولید و مصرف مطابق با یکدیگرند. البته تولید محصولات ارگانیک نیز با توجه به پیش‌نیازها و الزاماتی که نیاز دارد (نظیر این‌که تا سه سال قبل از کشت محصولات ارگانیک، نباید در آن



شکل ۲. درصد کمبود و جانشینی تقاضای محصولات در مطالعه موردی.

با بررسی نتایج در جدول ۳ می‌توان مشاهده کرد که در صورتی‌که گام تابع اجتماعی  $\varepsilon_2$  ثابت در نظر گرفته شود، با افزایش در گام زیست‌محیطی، با توجه به بزرگ‌تر شدن ناحیه‌ی موجه تابع هدف دوم و کمینه‌سازی هدف زیست‌محیطی، مقدار  $Z_2$  باید بدتر شود و بنابراین تابع هدف دوم ( $Z_2$ ) افزایش می‌یابد. در پی افزایش ناحیه‌ی موجه، مقدار تابع هدف اول ( $Z_1$ ) بهتر می‌شود و کاهش می‌یابد. همچنین در جدول ۴ نیز با ثابت نگه‌داشتن گام زیست‌محیطی، با افزایش در گام اجتماعی و با توجه به بیشینه‌سازی تابع سلامت، مقدار تابع هدف سوم ( $Z_3$ ) باید بهتر شود و افزایش یابد. در این حالت نیز با توجه به کوچک شدن ناحیه‌ی موجه، مقدار تابع هدف اول بدتر می‌شود و افزایش می‌یابد.

در ادامه تغییرات متغیرهای تصمیم مانند میزان مصرف و تولید با افزایش مقادیر گام‌های زیست‌محیطی و اجتماعی بررسی شده است. در جدول ۵ میزان مصرف گوجه‌فرنگی ارگانیک و شیمیایی ارائه شده است. مصرف را می‌توان به عنوان استفاده و بهره‌برداری از کالاها و خدمات به منظور رفع یک یا تعدادی از نیازهای افراد تعریف کرد. طبیعی است که با افزایش جمعیت و رشد شهرنشینی تغییراتی در الگوی مصرف افراد جوامع پدید آید. به واسطه‌ی تغییرات آب‌وهوایی و استفاده‌ی بی‌رویه از منابع تجدیدنپذیر و طبیعی، تمام کشورهای جهان باید مصرف خود را به سمت مصرف پایدار سوق دهند. منظور از مصرف پایدار استفاده از کالاها و خدماتی است که با دارا بودن کمینه‌ی اثر بر محیط‌زیست بتواند در راستای رفع نیاز نسل‌های آینده گام بردارد. طبق تعریف ارائه شده در نشست اسلو در سال ۱۹۹۴ مصرف پایدار به صورت «استفاده از خدمات و محصولات مرتبط

جدول ۶. میزان تولید با افزایش گام‌های زیست‌محیطی و اجتماعی.

$\varepsilon_r = 14955$		$\varepsilon_r = 6357/8$		$\varepsilon_r = -2239/4$		$\varepsilon_r = -10836/6$		$\varepsilon_r = -19433/8$		$\varepsilon_r = -28031$		
C	O	C	O	C	O	c	o	C	O	C	O	
°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	$\varepsilon_r = 0$
°	2912	31	28722	1467	1439	2632	279	2632	279	2632	279	$\varepsilon_r = 3/23e + 7$
°	5817	1126	4687	2561	3253	3602	2211	3602	2211	3602	2211	$\varepsilon_r = 6/75e + 7$
°	6633	2222	6504	3656	5067	4299	4422	4299	4422	4299	4422	$\varepsilon_r = 1/01e + 8$
°	6633	2300	6633	4600	6633	6181	4717	6901	4717	6901	4717	$\varepsilon_r = 1/35e + 8$
°	6633	2300	6633	4600	6633	6900	6633	7081	6633	7081	6633	$\varepsilon_r = 1/69e + 8$

جدول ۷. میزان سفارش با افزایش گام‌های زیست‌محیطی و اجتماعی در خرده‌فروش.

$\varepsilon_r = 14955$		$\varepsilon_r = 6357/8$		$\varepsilon_r = -2239/4$		$\varepsilon_r = -10836/6$		$\varepsilon_r = -19433/8$		$\varepsilon_r = -28031$		
C	O	C	O	C	O	c	o	c	O	C	o	
°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	$\varepsilon_r = 0$
°	2853	30	2814	1467	1410	2500	273	2500	273	2500	273	$\varepsilon_r = 3/23e + 7$
°	5701	1070	4593	2433	3188	3422	2167	3422	2167	3422	2167	$\varepsilon_r = 6/75e + 7$
°	6500	2111	6373	3473	4966	4083	4333	4083	4333	4083	4333	$\varepsilon_r = 1/01e + 8$
°	6500	2185	6500	4370	6500	5872	5332	6556	4622	6556	4622	$\varepsilon_r = 1/35e + 8$
°	6500	2185	6500	4370	6500	6555	6500	6727	6500	6727	6500	$\varepsilon_r = 1/69e + 8$

شیمیایی به صورت میانگین کاهش می‌یابد تا به کمترین حد خود یعنی صفر برسد. به عبارتی هنگامی که  $\varepsilon_r = 14955$  و  $\varepsilon_r = 1/69e + 8$  باشد و توجه به توابع زیست‌محیطی و اجتماعی در بالاترین سطح خود قرار گیرند، بیشترین مقدار سفارش گوجه‌فرنگی ارگانیک و کمترین مقدار را برای گوجه‌فرنگی شیمیایی خواهیم داشت.

نتایج متغیر تصمیم کمبود محصولات به عنوان آخرین متغیر مورد بررسی قرار گرفته، در جدول ۸ ارائه شده است.

با بررسی میزان کمبود در خرده‌فروش، این نتیجه به دست می‌آید که با افزایش گام اجتماعی و با توجه به کاهش میزان تولید جدول ۶، مقدار کمبود گوجه‌فرنگی شیمیایی به تدریج افزایش می‌یابد. البته به دلیل ظرفیت پایین‌تر نگهداری محصول ارگانیک در خرده‌فروش و با توجه به افزایش کمبود محصول شیمیایی و رشد ترجیح مصرف‌کننده به جانشینی محصولات ارگانیک، مقدار کمبود محصول ارگانیک نیز با افزایش مواجه می‌شود. مثلاً در صورتی که توجه به سلامت و محیط‌زیست افزایش یابد، میزان کمبود محصول ارگانیک نیز به دلایل ذکر شده افزایش می‌یابد. در این تحقیق در جدول ۹ شاخص‌هایی نظیر میزان مصرف محصول شیمیایی به ارگانیک و تولید محصول شیمیایی به ارگانیک بررسی شده اند.

این شاخص‌ها که از تقسیم کردن مقادیر مصرف و تولید محصولات شیمیایی به ارگانیک به دست آمده اند، نشان دهنده‌ی میزان ترجیحات مصرف‌کننده و تأمین‌کننده در استفاده و تولید از این محصولات است. نسبت مصرف شیمیایی

زمین‌ها محصولی کشت شود) بسیار زمان‌بر و هزینه‌بر است اما هنگامی که هیچ محصول شیمیایی مورد استفاده‌ی مصرف‌کنندگان قرار نگیرد، تأمین‌کننده نیازی در تولید این نوع از محصولات نمی‌بیند و ترجیح می‌دهد که تمام تلاش خود را به کارگیرد تا با استفاده و بهره‌برداری از تمام ظرفیت و منابع خود اقدام به تولید محصول ارگانیک کند.

متغیر مورد مطالعه بعدی میزان جریان محصولات (مقدار سفارش) هر خرده‌فروش است که نتایج آن در جدول ۷ مورد بررسی قرار گرفته است.

به منظور ساده‌سازی و تسهیل در تحلیل نتایج، تعدادی از متغیرهای تصمیم نظیر مقدار تولید، سفارش و کمبود را به صورت میانگین محاسبه کرده‌ایم. به این صورت که مجموع مقدار سفارش به دست آمده را بر افاق برنامه‌ریزی مسئله که شامل سه دوره است، تقسیم نموده‌ایم. با این توضیحات، همان‌طور که از نتایج مربوط به متغیر سفارش برمی‌آید، هنگامی که توجه به تابع اجتماعی در پایین‌ترین سطح خود یعنی  $\varepsilon_r = -28031$  قرار دارد، به تدریج و با افزایش گام زیست‌محیطی مقدار سفارش برای گوجه‌فرنگی شیمیایی بیشتر از مقدار ارگانیک آن است؛ اما هر چه پیش می‌رویم، مقدار سفارش شیمیایی کاهش می‌یابد تا جایی که تمام مقادیر سفارش برای گوجه‌فرنگی شیمیایی در بیشترین مقدار  $\varepsilon_r$  برابر با صفر است. با افزایش توجه به شاخص اجتماعی و سلامت و در پی افزایش گام زیست‌محیطی، مقدار سفارش و تقاضای خرید گوجه‌فرنگی ارگانیک در خرده‌فروش رفته‌رفته افزایش می‌یابد تا به مقداری برابر با بیشینه‌ی ظرفیت ذخیره‌سازی در انبار یعنی ۶۵۰۰ واحد برسد؛ اما در مقابل، سفارش محصول

جدول ۸. میزان کمبود محصول ارگانیک و شیمیایی در خرده‌فروش.

$\varepsilon_2 = 14955$		$\varepsilon_2 = 6357/8$		$\varepsilon_2 = -2239/4$		$\varepsilon_2 = -10836/6$		$\varepsilon_2 = -19433/8$		$\varepsilon_2 = -28031$	
c	O	c	O	C	O	c	O	C	O	C	O
8529	12022	8529	12022	8529	12022	8529	12022	8529	12022	8529	12022
3443	8895	3443	8895	3443	8895	3443	8895	3443	8895	3443	8895
5370	8495	5370	8495	5370	8495	5370	8495	5370	8495	5370	8495
2377	7722	2377	7722	2377	7722	2377	7722	2377	7722	2377	7722
2519	6517	2519	6517	2519	6517	2519	6517	2519	6517	2519	6517
1527	9143	1527	9143	1527	9143	1527	9143	1527	9143	1527	9143
335	4913	335	4913	335	4913	335	4913	335	4913	335	4913
398	10377	398	10377	398	10377	398	10377	398	10377	398	10377
167	4913	167	4913	167	4913	167	4913	167	4913	167	4913
1002	10377	1002	10377	1002	10377	1002	10377	1002	10377	1002	10377
167	4913	167	4913	167	4913	167	4913	167	4913	167	4913
1002	10377	1002	10377	1002	10377	1002	10377	1002	10377	1002	10377
											$\varepsilon_2 = 0$
											$\varepsilon_2 = 3/23e + 7$
											$\varepsilon_2 = 6/75e + 7$
											$\varepsilon_2 = 1/0.1e + 8$
											$\varepsilon_2 = 1/35e + 8$
											$\varepsilon_2 = 1/69e + 8$

جدول ۹. شاخص‌های نسبت تولید به و مصرف محصول شیمیایی بر ارگانیک.

$\varepsilon_2 = -28031$	$\varepsilon_2 = 14955$	$\varepsilon_2 = 6357/8$	$\varepsilon_2 = -2239/4$	$\varepsilon_2 = -10836/6$	$\varepsilon_2 = -19433/8$	
0	0.1	0.99	9.15	9.15	9.15	$\varepsilon_2 = 3/23e + 7$
0	0.23	0.76	1.58	1.58	1.58	$\varepsilon_2 = 6/75e + 7$
0	0.33	0.7	0.94	0.94	0.94	$\varepsilon_2 = 1/0.1e + 8$
0	0.34	0.67	1.1	1.42	1.42	$\varepsilon_2 = 1/35e + 8$
0	0.34	0.67	1.01	1.03	1.03	$\varepsilon_2 = 1/69e + 8$
0	0.1	1.02	9.43	9.43	9.43	$\varepsilon_2 = 3/23e + 7$
0	0.24	0.79	1.63	1.63	1.63	$\varepsilon_2 = 6/75e + 7$
0	0.34	0.72	0.97	0.97	0.979	$\varepsilon_2 = 1/0.1e + 8$
0	0.35	0.69	1.14	1.46	1.46	$\varepsilon_2 = 1/35e + 8$
0	0.35	0.69	1.04	1.07	1.07	$\varepsilon_2 = 1/69e + 8$

مصرف محصول شیمیایی به  
مصرف محصول ارگانیک

تولید محصول شیمیایی به  
تولید محصول ارگانیک

### ۶. نتیجه‌گیری

به دلیل افزایش جمعیت امروزه مشکلاتی نظیر تأمین غذا، مدیریت پسماند مواد غذایی و تأثیر دفع محصولات بر محیط زیست و سلامتی افراد جامعه و در نتیجه افزایش میزان گازهای گلخانه‌یی و اثر آن بر گرم شدن کره زمین در تمام کشورها و دولت‌ها وجود دارد. یکی از راهکارهایی که می‌توان سلامت جامعه و محیط‌زیست را افزایش داد ترویج کشاورزی ارگانیک و مصرف بیشتر محصولات ارگانیک است. به دلیل عدم استفاده از کودها و سموم شیمیایی در پرورش محصولات ارگانیک افزایش آگاهی افراد جامعه درباره‌ی فواید این نوع از محصولات بسیار کارا و مفید خواهد بود.

در این مقاله یک زنجیره‌ی تأمین محصولات کشاورزی پایدار دوسطحی متشکل از یک تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش ارائه شده است. با استفاده از یک مدل ریاضی

به ارگانیک در صورتی‌که توجه به سلامت و تابع اجتماعی در پایین‌ترین حد خود قرار داشته باشد، بیشتر از نه برابر و با افزایش  $\varepsilon_2$ ، این نسبت به کمتر از یک می‌رسد تا جایی که در بیشینه‌ی مقدارش برابر با صفر می‌شود. همچنین ترجیحات مصرف‌کنندگان با در نظر گرفتن ابعاد زیست‌محیطی و افزایش آن به تدریج کاهش می‌یابند. در حالتی‌که توجه به سلامت در نهایت خود قرار داشته باشد ( $\varepsilon_2 = 14955$ ) با افزایش ترجیحات مصرف‌کنندگان در استفاده از مواد دوستدار محیط‌زیست می‌توان مشاهده کرد که این نسبت به صفر می‌رسد و کل مصرف کنندگان استفاده از محصولات ارگانیک را ترجیح می‌دهند. در مورد تأمین‌کننده و مقدار شاخص تولید محصول شیمیایی به ارگانیک نیز دقیقاً همین شرایط برقرار است. این موضوع بیانگر آن است که میزان تولید و مصرف با یکدیگر تطابق دارد و تأمین‌کننده محصولی را تولید می‌کند که بتواند به طور کامل نیاز مصرف‌کننده را برآورده سازد.

ارتقای شغلی و غیره (۲) همچنین حل مدل به صورت احتمالی و (۳) در نظر گرفتن مدل با مجموعه‌یی از محصولات و نیز مجموعه‌یی از وسایل نقلیه (۴) مطالعه‌ی محصولات غذایی و کشاورزی در زنجیره‌های تأمین واگرا و همگرا اشاره کرد.

## تقدیر و تشکر

این کار پژوهشی با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور انجام شده است (کد طرح: ۹۲۰۲۵۳۶۰).

غیرخطی به بررسی توازن بین اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی و ارائه‌ی مقادیر مربوط به متغیرهای تصمیم نظیر مقدار تولید، مصرف، کمبود و میزان سفارش پرداخته شده است. با بررسی مثال عددی و انجام تحلیل عددی می‌توان به این نتیجه رسید که افزایش اهمیت و توجه به ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی زنجیره منجر به افزایش توجه به تولید و مصرف محصولات ارگانیک شده است. البته توجه و در نظر گرفتن فرض جانمایی نیز خود یکی از دلایل افزایش روی آوردن مشتریان به محصولات ارگانیک بوده است.

در نهایت به عنوان پیشنهادهایی برای انجام تحقیقات آتی در این زمینه می‌توان به (۱) در نظر گرفتن معیارهای اجتماعی دیگری نظیر سطح خدمت‌دهی،

## پانویس‌ها

1. green supply chain
2. sustainable supply chain
3. costs eco

## منابع (References)

1. Mirzapour, Al-e-hashem, S.M.J. Baboli, A. and Sazvar, Z., "A stochastic aggregate production planning model in a green supply chain: considering flexible lead times, nonlinear purchase and shortage cost functions", *European Journal of Operational Research*, **230** (1), pp. 26-41 (2013).
2. Rajabi, A., Shaabanalifami, H. and Pooratashi, M., "Investigating components of accepting organic agricultural products from consumer perspective (case study: karaj)", *Journal of Food Science and Technology*, **10**(38), pp. 33-43 (2013). (In Persian).
3. Mercati, V., "organic agriculture as a paradigm of sustainability: italian food and its progression in the global market", *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, **8**, pp. 798-802 (2016).
4. Lea, E. and Worsley, T., "Australians' organic food beliefs, demographics and values", *British Food Journal*, **107**(11), pp. 855-869 (2005).
5. Baudry, J., Méean, C., Pénau, S. and et al. "Health and dietary traits of organic food consumers: results from the NutriNet-Sante study", *British Journal of Nutrition*, **114**(12), pp. 2064-2073 (2015).
6. Tuomisto, H. L., Hodge, I. D., Riordan, P. and et al. "Does organic farming reduce environmental impacts?—A meta-analysis of european research", *Journal Of Environmental Management*, **112**, pp. 309-320 (2012).
7. Sazvar, Z. and Sepehri, M., "Multi-objective Sustainable Supply Chain Planning with Deteriorating Products", *Sharif Journal*, **33.1**(1.2), pp.85-99, (In Persian) (2016).
8. Brandenburg, M., Govindan, K., Sarkis, J. and et al. "Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions", *European Journal of Operational Research*, **233**(2), pp. 299-312 (2014).
9. Seuring, S. and Müller, M., "From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management", *Journal Of Cleaner Production*, **16**(15), pp. 1699-1710 (2008).
10. Srivastava, S. K., "Green supply chain management: a stateofheart literature review", *International Journal Of Management Reviews*, **9**(1), pp. 53-80 (2007).
11. Min, H., and Kim, I., "Green supply chain research: past, present, and future", *Logistics Research*, **4**(1-2), pp. 39-47 (2012).
12. Skandarpour, M., Dejax, P. and Miemcxyk, K. and et al. "Sustainable supply chain network design: an optimization-oriented review", *Omega*, **54**, pp. 11-32 (2015).
13. Ansari, Z. N., Kant, R. "A state-of-art literature review reflecting 15 years of focus on sustainable supply chain management", *Journal of Cleaner Production*, **142**, pp. 2524-2543 (2017).
14. Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Van der Vorst, J. G. A. J., "Modelling food logistics networks with emission considerations: The case of an international beef supply chain", *International Journal of Production Economics*, **152**, pp. 57-70 (2014).
15. Sazvar, Z., Mirzapour Al-e-hashem, S. M. J., Baboli, A. and et al. "A bi-objective stochastic programming model for a centralized green supply chain with deteriorating products" *International Journal of Production Economics*, **150**, pp. 140-154 (2014).
16. Jamshidi, R., Ghomi, S. F., Karimi, B., "Multi-objective green supply chain optimization with a new hybrid memetic algorithm using the Taguchi method". *Scientia Iranica*, **19**(6), pp. 1876-1886. (2012).
17. Brandenburg, M., "Low carbon supply chain configuration for a new product—a goal programming approach",

- International Journal of Production Research*, **53**(21), pp. 1-23 (2015).
18. Sepehri, M. and Sazvar, Z., "Multi-objective sustainable supply chain with deteriorating products and transportation options under uncertain demand and backorder. *Scientia Iranica*", *Transaction E, Industrial Engineering*, **23**(6), pp. 2977-2994 (2016).
  19. Chaabane, A., Ramudhin, A. and Paquet, M., "Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme", *Int. J. Prod. Econ., Advances in Optimization and Design of Supply Chains*, **135**, pp. 37-49 (2012).
  20. Harris, I., Mumford, C. L. and Naim, M. M. , "A hybrid multi-objective approach to capacitated facility location with flexible store allocation for green logistics modelling", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **66**, pp. 1-22 (2014).
  21. Miret, C., Chazara, P., Montastruc, L. and et al. "Design of bioethanol green supply chain: comparison between first and second generation biomass concerning economic, environmental and social criteria", *Computers & Chemical Engineering*, **85**, pp. 16-35 (2016).
  22. Azadeh, A., Raoofi, Z. and Zarrin, M., "A multi-objective fuzzy linear programming model for optimization of natural gas supply chain through a greenhouse gas reduction approach", *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, **26**, pp. 702-710 (2015).
  23. Validi, S., Bhattacharya, A. and Byrne, P. J., "A case analysis of a sustainable food supply chain distribution system—A multi-objective approach", *Int. J. Prod. Econ., Sustainable Food Supply Chain Management*, **152**, pp. 71-87 (2014).
  24. Pinto-varela, T., Barbosa- Póvoa, A. P. and Novais, A. Q., "Bi-objective optimization approach to the design and planning of supply chains: economic versus environmental performances", *Computers & Chemical Engineering*, **35**(8), pp. 1454-1468 (2011).
  25. Santibañez-Aguilar, J. E., González-Campos, J. B., Ponce-Ortega, J. M. and et al. "Optimal planning and site selection for distributed multiproduct biorefineries involving economic, environmental and social objectives", *Journal of Cleaner Production*, **65**, pp. 270-294 (2014).
  26. Neto, J. Q. F., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Van Nunen, J. A. and et al. "Designing and evaluating sustainable logistics networks", *International Journal of Production Economics*, **111**(2), pp. 195-208 (2008).
  27. Babazadeh, R., Razmi, J., Pishvaei, M.S. and et al. "A sustainable second-generation biodiesel supply chain network design problem under risk", *Omega, New Research Frontiers in Sustainability 66, Part B*, **66**, pp. 258-277 (2017).
  28. Tognetti, A., Grosse-Ruyken, P. T. and Wagner, S. M. , "Green supply chain network optimization and the trade-off between environmental and economic Objectives", *International Journal of Production Economics*, **170**, pp.385-392 (2015).
  29. Devika, K., Jafarian, A. and Nourbakhsh, V., "Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: a comparison of meta-heuristics hybridization techniques", *European Journal of Operational Research*, **235**(3), pp. 594-615 (2014).
  30. Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R. and et al. "Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food", *International Journal of Production Economics*, **152**, pp. 9-28 (2014).
  31. Kesse-Guyot, E., Baudry, J., Assmann, K. E. and et al. "Prospective association between consumption frequency of organic food and body weight change, risk of overweight study", *British Journal of obesity: Results From the NutriNet-Sant of Nutrition*, **117**(2), pp. 325-334 (2017).
  32. Müller, A., Benefits of organic agriculture as a climate change adaptation and mitigation strategy for developing countries. Environment for development discussion paper series EfD DP 09-09. April. Washinton. DC, Environment for Development Initiative and Resource for the future (2009).