اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۸، شمارهٔ ۱۱۱، پاییز ۱۳۹۹

DOI: 10.30490/AEAD.2020.312856.1102

طراحی زنجیرهٔ تأمین حلقه بسته سبز برای تولید محصول زیتون تحت شرایط ریسک

آناهیتا نظری گوران[۱]، مجتبی مجاوریان[۲]، میرسامان پیشوایی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۳

چکیده

بر اثر عواملی چون مسائل سیاسی، تغییرات فناوری و حوادث طبیعی، در کنار گسترش نگرانی‌های زیست‌محیطی و مسئولیت‌پذیری اجتماعی، مسائل زنجیره تأمین دیگر فقط نگاهی رو به جلو ندارد و حالت معکوس نیز مد نظر قرار گرفته است. از این‌رو، در مطالعهٔ حاضر، با طراحی و مدل‌سازی زنجیره تأمین حلقه بسته سبز چنددوره‌ای و چندمحصولی در زمینه تولید زیتون،

۱- نویسندهٔ مسئول و دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران (nazari_anahita@yahoo.com).

۲- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۳- دانشیار مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

بهینه‌سازی سود کل زنجیره و هزینه‌های آلاینده‌های حاصل از فرآیند فرآوری این محصول با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای داده‌های محصول زیتون ایران طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷ بررسی شد. همچنین، با وارد کردن ریسک به مدل پیشنهادی و در نظرگرفتن تقاضای تمامی مراکز تحت شرایط ریسک، مدل به واقعیت نزدیک‌تر شد. نتایج مطالعه نشان داد که این زنجیره با مقدار ۵۵۴۱۷ میلیارد ریال سودآور است؛ اما با توجه به نسبت هزینه دفع به سود بازیافت پسماندها (۴۳۱/۹۱)، زنجیره تأمین زیتون و فرآورده‌های آن در زمینهٔ بازیافت پسماند ضعیف عمل می‌کند که با اصلاح زنجیره، این نسبت ۷۹ درصد کاهش خواهد یافت؛ همچنین، در این زنجیره، نیاز به واردات در شرایط ریسک وجود ندارد و کلیه نیازهای بازار و تقاضای مراکز صادرات، بدون هیچ‌گونه فروش از دست‌رفته از طریق زنجیره، تأمین می‌شود. بنابراین، با تجهیز کارخانه‌های فرآوری زیتون و احداث کارخانه‌های فرآوری پسماندهای حاصل از روغن‌کشی با بازیابی و یا تولید مواد باارزش از پسماندها، می‌توان بهره‌وری صنایع تبدیلی زیتون را افزایش داد. از سوی دیگر، با توجه به توان و ظرفیت تولید و فرآوری زیتون، شایسته است به‌منظور افزایش مصرف روغن زیتون در راستای ارتقای سلامت جامعه و ایجاد ارزش افزوده، سیاست‌هایی در سطح کلان اتخاذ شود تا از این رهگذر، تولید محصول زیتون افزایش یابد.

کلیدواژه‌ها: *حلقه بسته سبز، ریسک شرطی، زنجیره تأمین، زیتون، الگوریتم ژنتیک.*
طبقه‌بندی JEL: Q13, M31, C61

مقدمه

«مدیریت زنجیرهٔ تأمین» مجموعه‌ای از تولید، توزیع و فرآیندهای بازاررسانی در راستای تأمین محصول مصرف‌کننده است. اهمیت تحلیل زنجیره عرضه کشاورزی در ایجاد مزیت رقابتی برای صنایع کشاورزی از طریق افزایش کارآیی و کاهش هزینه‌هاست (Khaledi and Amjadi, 2009). زنجیره تأمین شامل فعالیت‌های مدیریتی از جمله نحوه

برخورد با شرکت‌های متعدد سازنده، هدف‌گذاری و تعیین راهبردهای خرید داخلی و خارجی، ارتقای کیفیت شرکت‌های سازنده، بازاریابی، تدارکات، ارائه خدمات بهتر به مشتریان متعدد و ... است، که تدارکات یکی از مراحل مهم در این زنجیره محسوب می‌شود. به‌صورت دقیق‌تر، «تدارکات» بخشی از فرآیند زنجیره تأمین است که عهده‌دار برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل مؤثر و کارآی جریان رو به جلو و معکوس، انبارش کالاها، خدمات و اطلاعات میان نقطه مبدأ و نقطه مصرف در راستای برآورده‌سازی نیازهای مشتریان است (Khani and Ghazavi, 2015). به‌طور کلی، دو نوع زنجیره تأمین وجود دارد، زنجیره تأمین مستقیم و معکوس. زنجیره تأمین مستقیم شامل تمام فعالیت‌هایی است که از طریق آن، مواد اولیه به محصولات نهایی تبدیل می‌شوند (Talaei et al., 2015). زنجیره تأمین معکوس را می‌توان، فرآیند برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل جریان‌های برگشتی از مواد خام، فرآیندهای موجودی، بسته‌بندی و محصولات نهایی از تولیدکننده، توزیع‌کننده یا نقطه مصرف به نقطهٔ بازیافت یا دفع مناسب تعریف کرد (Alfonso-Lizarazo et al., 2013).

به‌منظور یکپارچگی طراحی زنجیره تأمین، از ادغام تدارکات مستقیم و معکوس «زنجیره تأمین حلقه بسته» به‌دست می‌آید. از دیگر نتایج طراحی یکپارچهٔ تدارکات مستقیم و معکوس می‌توان به افزایش بهره‌وری و رضایت مشتریان اشاره کرد (Hatefi and Jolai, 2014). زنجیره تأمین حلقه بسته یک راه اقتصادی و زیست‌محیطی مطمئن برای دستیابی به بسیاری از اهداف توسعه پایدار است که نسبت به زنجیره تأمین سنتی یا کلاسیک، فواید بیشتری دارد و در عین حال، مدیریت و کنترل زنجیره تأمین سنتی را نیز پیچیده می‌سازد (Jindal and Sangwan, 2014). با در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی در مدیریت زنجیره تأمین شامل طراحی محصول، انتخاب و منبع‌یابی مواد، فرآیند ساخت و تولید، تحویل محصول نهایی به مشتری و مدیریت محصول پس از مصرف و طی شدن عمر مفید آن، زنجیره تأمین سبز شکل می‌گیرد. در واقع، مدیریت زنجیره تأمین سبز به‌دنبال حداقل‌سازی ضایعات (انرژی، تولید گازهای گلخانه‌ای و مواد شیمیایی) در طول زنجیره عرضه است (Falahati et al., 2015). بحث دیگری که در زنجیرهٔ

تأمین اهمیت دارد، مسئلهٔ ریسک است. در نظر نگرفتن عدم قطعیت‌های ذاتی موجود در طراحی شبکه‌های تدارکاتی موجب زیان‌های فراوان سازمان‌ها می‌شود که گاهٔ در کوتاه‌مدت، غیرقابل جبران خواهند بود. دسته اول عدم قطعیت‌ها، شامل عدم قطعیت پارامترها در طراحی چنین شبکه-هایی، برآمده از طبیعت پویا و دوره بلندمدت برنامه‌ریزی است. این عدم قطعیت‌ها می‌توانند بر کیفیت تصمیمات اتخاذشده در سطوح راهبردی، مقطعی و عملیاتی تا حد زیادی تأثیرگذار باشند و به ایجاد اثرات نامطلوب بلندمدت بینجامند (Pishvaei and Torabi, 2010).

در کشورهای در حال توسعه، نظام بازاریابی محصولات کشاورزی نارسایی‌هایی دارد که تولید و درآمد کشاورزان را با مشکل روبه‌رو می‌کند (Mehdipoor et al., 2005). در برنامه راهبردی زنجیره تأمین فرآورده‌های غذایی، به اهمیت صنایع غذایی به‌عنوان ارتباط‌دهندهٔ کشاورزی با مصارف نهایی که می‌تواند نقش مهمی در مدیریت زنجیره و توازن در تولید و مصرف داشته باشد، اشاره شده است (Fatemi-Amin and Mortezaei, 2013). به دیگر سخن، پرداختن به مبحث زنجیرهٔ عرضه از جهاتی دیگر نیز حائز اهمیت است که از آن جمله می‌توان به تأمین امنیت غذایی، کاهش نوسان‌های قیمت مواد غذایی و وابستگی به واردات، افزایش اشتغال و کاهش مشکلات فقر اشاره کرد. امروزه، به‌دلیل نگرانی‌های زیست‌محیطی، نه‌تنها یک زنجیره تأمین مستقیم کارآمد مورد نیاز است، بلکه طراحی و مدیریت زنجیره تأمین معکوس نیز باید در نظر گرفته شود؛ بدین‌گونه، علاوه بر مزایای زیست‌محیطی، با بازگرداندن پسماندها به زنجیره، منافع مالی و اقتصادی نیز حاصل می‌شود (Shokri and Jafari, 2015). از این‌رو، اهمیت زنجیرهٔ تأمین محصولات کشاورزی باعث شده است که کارگروه زنجیره‌های عرضه در وزارت جهاد کشاورزی با مسئولیت دفتر توسعهٔ صادرات و با هدف پیگیری راه‌اندازی زنجیره‌های عرضه در استان‌ها تشکیل شود. زنجیرهٔ تأمین زیتون و فرآورده‌های حاصل از آن یکی از زنجیره‌های تأمین محصولات کشاورزی است که نیاز به اصلاح و بررسی دارد. بنابراین، اهمیت محصول زیتون چه از نظر سلامت جامعه و چه از لحاظ اقتصادی و افزون بر این، بروز مشکلاتی در تولید و درآمد کشاورزان بر اثر سوداگری دلالان و همچنین،

آسیب‌پذیری صنایع تبدیلی زیتون بر اثر واردات بی‌رویهٔ این محصول طبق نظر کارشناسان شورای ملی زیتون از جمله دلایل ضرورت انجام مطالعهٔ حاضر به‌شمار می‌روند. با توجه به نظرات کارشناسان کشاورزی و پژوهش‌های پیشین در زمینهٔ بازاریابی زیتون، می‌توان به بررسی برخی از ضعف‌های زنجیره تأمین فعلی زیتون به‌شرح زیر پرداخت:

- با توجه به مطالعات عزیزی (Azizi, 2000) و آشوری (Ashouri, 2012)، حاشیهٔ بازاریابی زیتون گسترده است، به‌گونه‌ای که سبب افزایش قیمت روغن زیتون و فرآورده‌های دیگر آن برای مصرف‌کننده و نیز تضعیف تولید می‌شود. همچنین، قیمت سر مزرعه زیتون خام در سال ۱۳۹۵، بین ۴۵ تا ۶۰ هزار ریال برای هر کیلوگرم بود؛ محصول زیتون بین هجده تا بیست درصد روغن دارد، که از هر پنج تا شش کیلوگرم زیتون خام، یک کیلوگرم روغن حاصل می‌شود. قیمت مصوب خرده‌فروشی زیتون فرآوری‌شده، با توجه به کیفیت، بین ۹۰ تا ۱۵۰ هزار ریال برای هر کیلوگرم بوده و قیمت خرده‌فروشی روغن زیتون نیز بین ۲۷۰ تا ۳۵۰ هزار ریال است. بنابراین، بالا بودن ارقام حاشیه کل بازار که عبارت است از تفاوت قیمت دریافتی توسط تولیدکننده (باغدار) و قیمت پرداختی توسط مصرف‌کننده، نشان‌دهندهٔ ضعف این زنجیره است.
- طبق آمار دفتر زیتون وزارت جهاد کشاورزی، تعداد کل دستگاه‌های روغن‌کشی ثابت و سیار موجود در استان‌های زیتون‌خیز ۸۷ دستگاه است. همچنین، مجموع ظرفیت اسمی دستگاه‌های سیار روغن‌کشی زیتون موجود در کشور ۵۵۵۰ کیلوگرم در ساعت است، ولی ظرفیت عملی این دستگاه‌ها در کل کشور ۵۳۲۸ تن در سال است. بنابراین، دستگاه‌های روغن‌کشی موجود کمتر از ظرفیت اسمی خود فعال هستند. یکی از دلایلی که کارخانه‌های فرآوری نمی‌توانند از حداکثر ظرفیت تولیدی خود استفاده کنند، کمبود زیتون خام است، زیرا سهم بیشتر تولید زیتون خام صرف کنسروسازی می‌شود.
- یکی از ضایعات زیستی (ضایعات کارخانه‌های محصولات غذایی زیتون) تفاله زیتون است که پراکنده شدن آنها به آلودگی محیط و اتلاف انرژی، انتشار آلاینده‌های حاصل از

احتراق آنها، افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو زمین و تغییرات آب‌وهوایی به‌ویژه افزایش گرما در کره زمین می‌انجامد. تفاله زیتون به‌عنوان یکی از ضایعات کشاورزی در صنعت تولید روغن ایجاد می‌شود. هرساله، شش هزار تن تفاله زیتون ازکارخانه روغن‌کشی استان گیلان استحصال می‌شود که این حجم از تفاله در زمینه حمل‌ونقل و دفن و از نظر زیست‌محیطی و بهداشتی، مشکلاتی را برای کارخانه‌ها و همچنین، مردم منطقه پدید می‌آورد. برآوردهای صورت‌گرفته نیز نشان می‌دهند که توان تقریبی تولید گاز متان از طریق فناوری بی‌هوازی در ایران برای سال ۱۳۷۵ حدود ۹۳۰۰ میلیون متر مکعب بوده، که یک‌هزار میلیون متر مکعب آن از زباله‌هاست. بخش عظیمی از این رقم مربوط به فضولات دامی و گیاهٔ حاصل از فعالیت‌های دامپروری و کشاورزی است. استفاده مستقیم از آنها در زمین‌های زراعی و باغی کشور ممکن است باعث انتقال برخی از بیماری‌ها در سطح کشور شود و یا انبار کردن آنها در محیط برای پوسیدن چه‌بسا به ایجاد و انتشار مقداری گازهای متان و دی‌اکسید کربن در جو زمین بینجامد، که می‌تواند منجر به تخریب لایه ازن شود (Gholami et al., 2013).

اهداف مد نظر در مطالعهٔ حاضر عبارت‌اند از طراحی و برنامه‌ریزی یک شبکه زنجیرهٔ تأمین حلقه بسته متشکل از مراکز تأمین‌کننده، تولید، توزیع، دفع، مشتری خوراک دام، آرایشی و بهداشتی، مراکز صادرات و واردات؛ همچنین، با استفاده از این مدل، به بررسی هزینه‌های آلاینده‌های حاصل از فرآیند فرآوری محصول زیتون و سود کل زنجیرهٔ تأمین محصول زیتون و فرآورده‌های آن تحت ریسک تقاضای تمام مراکز پرداخته می‌شود. سؤالی که در راستای این اهداف پیش می‌آید، عبارت‌اند از: آیا در مطالعهٔ موردی تحقیق حاضر، این «نظام» هزینه‌های آلاینده‌های حاصل از فرآیند فرآوری محصول زیتون را حداقل می‌کند یا خیر؟ آیا در راستای حفظ محیط زیست، پسماندهای حاصل از فرآیند تولید را به شبکهٔ زنجیره برمی‌گرداند؟ آیا سود کل زنجیرهٔ تأمین محصول زیتون و فرآورده‌های آن تحت شرایط ریسک تقاضای کلیهٔ مراکز حداکثر می‌شود؟

در مطالعهٔ حاضر، نخست، پیشینهٔ پژوهش‌ها در زمینهٔ طراحی زنجیرهٔ تأمین بررسی و سپس، مدل تحقیق تشریح شده است؛ آنگاه پس از تشریح نتایج حل مسئلهٔ مورد نظر با الگوریتم ژنتیک، پیشنهادهایی برای بهبود عملکرد کل زنجیرهٔ تأمین ارائه شده است.

حاجی میرزاجان و همکاران (Haji-Mirzajan et al., 2-13)، در طراحی مدل زنجیرهٔ تأمین پویا برای محصولات کشاورزی، با در نظر گرفتن کیفیت محصول و حل یک نمونهٔ عددی، به تعیین میزان بهینهٔ تولید، انبار محصولات و میزان بهینهٔ ارسال آنها به بازار پرداختند و یک مدل تلفیقی از مدل‌های مکان‌یابی و برنامه‌ریزی تولید را ارائه کردند؛ و به کمک تابع هدف حداکثرسازی خطی، درآمد حاصل از فروش را افزایش و هزینه‌ها را کاهش دادند.

مجرد و همکاران (Mojarad et al., 2013)، در بررسی برنامه‌ریزی تولید در صنعت تولید رب گوجه‌فرنگی در استان خراسان شمالی، با شبیه‌سازی عرضهٔ گوجه‌فرنگی به‌عنوان نهادهٔ اصلی تولید رب گوجه‌فرنگی، به تحلیل عدم حتمیت در مدیریت زنجیرهٔ تأمین این صنعت پرداختند و نتایج حاصل از شبیه‌سازی عرضه گوجه‌فرنگی تحت سه سناریو را وارد مدل برنامه‌ریزی خطی تصادفی چندمرحله‌ای کردند. بر پایهٔ نتایج مطالعهٔ آنها، در حالتی که میزان عرضهٔ گوجه‌فرنگی متوسط یا زیاد باشد، میزان تولید، میزان فروش و موجودی انبار افزایش می‌یابد؛ به دیگر سخن، با در نظر گرفتن عدم حتمیت عرضهٔ نهادهٔ اصلی، باید سیاست‌هایی در راستای جلوگیری از بروز مشکل موجودی ناکافی در برآورد تقاضای بازار و تحویل قراردادها و از دست رفتن جایگاه در بازار اتخاذ شود.

گریوانی و پیشوایی (Garivani and Pishvaei, 2016)، در طراحی شبکهٔ صادرات عسل با در نظر گرفتن الزامات کیفی این محصول، از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط[1] چنددوره‌ای استفاده کردند که در آن، الگوی تقاضا در کشورهای واردکنندهٔ عسل براساس سطح کیفی این محصول در نظر گرفته شده بود؛ و از این‌رو، به باور آنها، به‌کارگیری

1. Mixed Integer Programming (MIP)

این مدل موجب سامان‌دهی وضعیت صادرات عسل ایران می‌شود. آنها در مدل پیشنهادی خود به اتخاذ تصمیماتی در زمینهٔ انتخاب بهترین مکان برای احداث مراکز توزیع، تخصیص مراکز توزیع به مشتریان و تعیین قیمت انتقال بهینه و سطح موجودی بهینه انواع مواد اولیه و محصولات در سطوح زنجیره تأمین، انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص آنها به مراکز توزیع با اهداف حداکثرسازی سود مراکز توزیع و فرآوری و حداکثرسازی رضایت مشتریان به‌صورت یکپارچه پرداختند.

یریچ و شوریچ (Jerić and Šorić, 2010)، با بررسی مدیریت زنجیره تأمین در صنعت روغن زیتون به کمک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط، به بهنه‌سازی میزان ذخیره‌سازی و تولید روغن زیتون با هدف بیشینه‌سازی سود تولیدکننده پرداختند و در ادامه، مطلوبیت تولیدکننده را نیز بررسی کردند. نتایج نشان داد که در این مدل، هزینهٔ ذخیره‌سازی، تولید و تحویل به حداقل رسیده است.

پکسوی و همکاران (Paksoy et al., 2012)، با طراحی شبکه زنجیره تأمین یک تولیدکنندهٔ روغن‌های گیاهی خوراکی به کمک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفهٔ فازی[1] در ترکیه، به بهینه‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل در یک بخش بین تأمین‌کنندگان و سیلوها و در بخش دیگر، میان تولیدکننده و انبارها پرداختند و از این رهگذر، سطح عدم رضایت مشتریان را به حداقل رساندند.

آلفونسو- لیزارازو و همکاران (Alfonso-Lizarazo et al., 2013)، با استفاده از یک مدل ریاضی، زنجیره تأمین حلقه بسته را برای روغن پالم در کلمبیا بررسی و هزینه‌های انرژی، عملیاتی و سود اقتصادی را تحت سناریوهای مختلف بهینه‌یابی کردند. نتایج نشان داد که تحلیل همزمان جریان‌های مستقیم و معکوس بر سود اقتصادی خالص این زنجیره تأمین تأثیر مثبت می‌گذارد.

1. Fuzzy Multi-Objective Linear Programming Model

وانگ و همکاران (Wang et al., 2013) نیز به ارائهٔ یک مدل توزیع درآمد در زنجیره تأمین حلقه بسته برای محصولات کشاورزی پرداختند که در واقع، این مدل ابزاری برای تجزیه و تحلیل مشارکت در زنجیره تأمین و همچنین، تخصیص سود حاصل از این همکاری محسوب می‌شود. آنها بین شرکت‌کنندگان زنجیره تأمین تفاوت‌هایی را از جنبه‌های مختلف همچون منبع سرمایه‌گذاری، میزان همکاری و ریسک‌پذیری در نظر گرفتند و دریافتند که باید این تفاوت‌ها در مدل تسهیم درآمد در زنجیره تأمین حلقه بسته محصولات سبز کشاورزی لحاظ شوند.

یورت (Yurt, 2015) به بهینه‌سازی شبکه توزیع زیتون و زنجیره تأمین روغن زیتون و نیز طراحی یک مدل عمومی برای زنجیره عرضه غذا پرداخت. همچنین، او مدلی خاص را برای یک شرکت تولیدی روغن زیتون در ترکیه ارائه داد و به‌منظور بهینه‌سازی تولید و نظام‌های توزیع آن، با بهره‌گیری از مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح، هزینه‌ها را حداقل و درآمد را حداکثر کرد.

محمد و وانگ (Mohammed and Wang, 2017) یک زنجیرهٔ عرضهٔ سبز سه‌رده‌ای را برای گوشت قرمز در نظر گرفتند که با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندهدفهٔ فازی، چهار هدف حداقل‌سازی هزینه کل حمل‌ونقل و عملیاتی، میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در حمل‌ونقل و زمان توزیع محصولات از مزارع تا کشتارگاه و از کشتارگاه تا خرده‌فروشی‌ها و حداکثرسازی متوسط میزان تحویل مقدار رضایت‌بخش محصول به کشتارگاه‌ها و خرده‌فروشی‌ها را بررسی کردند و از آن میان، یک طرح توزیع مطلوب به‌دست آمد.

طبق بررسی‌های صورت‌گرفته، در روش‌های حل مدل‌های مورد استفاده در مسائل زنجیره تأمین در بخش کشاورزی، اغلب حل مثال عددی به کمک نرم‌افزار گمز انجام شده و در مواردی هم منطق فازی و یا روش محدودیت اپسیلون به‌کار رفته است. در مباحثی غیر از بخش کشاورزی و البته بیشتر در صنعت، روش‌های گوناگون به‌کار گرفته شده که به‌اختصار، در جدول ۱ تشریح شده است.

جدول ۱- بررسی روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی در طراحی زنجیره تأمین در پژوهش‌های غیرکشاورزی

منبع	روش حل	مورد مطالعه
Kazemi and Kangi, 2012	الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید	بهینه‌سازی برنامه تولید و توزیع محصولات الکترونیکی
Tavakkoli-Moghaddam et al., 2013	تجزیه بندرز	مکان‌یابی کارخانه‌ها و انبارهای توزیع و تعیین راهبرد توزیع محصولات صنعتی
Tavakkoli-Moghaddam etal., 2015	الگوریتم جست‌وجوی گرانشی	طراحی شبکه خرید، تولید و توزیع در زنجیره تأمین سبز محصولات صنعتی
Jebreilzadeh et al., 2017	بهینه‌سازی استوار	مکان‌یابی تسهیلات با ظرفیت محدود برای طراحی یک زنجیرهٔ تأمین حلقه بسته محصولات صنعتی
Tiwari et al., 2010	تاچی	طراحی مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای یک زنجیره تأمین پنج‌لایه در صنعت
Yu et al., 2014	برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط	طراحی شبکه زنجیره تأمین برای افزایش رقابت و پایداری شرکت‌های صنعتی در مناطق قطب شمال
Braido et al., 2016	جست‌وجوی ممنوع	بهینه‌سازی شبکه زنجیره تأمین محصولات صنعتی به‌منظور کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل
Kadziński, Tervonen, Tomczyk and Dekker, 2017	الگوریتم‌های NSGAII و SPEA2 [۱]	حل مسائل زنجیره تأمین سبز یک شرکت صنعتی چندملیتی در منطقه جنوب شرقی اروپا

منبع: یافته‌های پژوهش

به‌منظور شناسایی شکاف‌های تحقیقاتی در مبحث زنجیرهٔ تأمین بخش کشاورزی، جدول ۲ تهیه شده است.

۱- الگوریتم تکاملی مبتنی بر نقاط قوت پارتو ۲ (Strength Pareto Evolutionary Algorithm2)

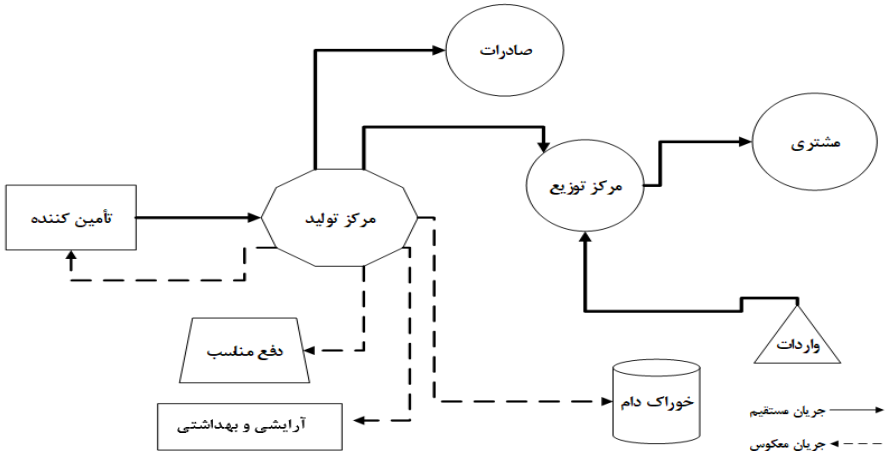
جدول ۲- بررسی تابع هدف و ویژگی‌های مدل در مسائل زنجیره تأمین حلقه بسته و روش حل آن

منبع	توابع هدف		نوع زنجیره تأمین			روش حل	توضیحات
	حداقل‌سازی	حداکثرسازی	مستقیم	معکوس	حلقه بسته		
Haji-Mirzajan et al., 2013	هزینه‌های تولید، حمل‌ونقل، اجاره سردخانه، نگهداری در سردخانه و هزینه واردات محصول	درآمدهای حاصل از فروش	*	–	–	حل مثال عددی	مدل تلفیقی مکان‌یابی و برنامه‌ریزی تولید
Mojarad et al., 2013	هزینه‌ها	–	*	–	–	برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای	عدم حتمیت عرضه نهاده
Garivani and Pishvaei, 2016	عدم رضایت مشتری	سود مراکز توزیع و فرآوری	*	–	–	برنامه ریاضی عدد صحیح مختلط	–
Mohammadi and Yousefinejad Attari, 2017	هزینه‌ها	–	*	–	–	الگوریتم ژنتیک	مقدار توزیع بهینه
Jerić and Šorić, 2010	هزینه‌های تولید و انبار	سود تولید کننده	*	–	–	هیوریستیک	–
Paksoy et al., 2012	هزینه‌های حمل‌ونقل	–	*	–	–	برنامه‌ریزی فازی	–
Alfonso-Lizarazo et al., 2013	هزینه‌های تولید، انرژی، حمل‌ونقل و نگهداری	درآمد کل	–	–	*	حل مثال عددی	–
Yurt, 2015	هزینه‌های تولید	درآمد کل	*	–	–	حل مثال عددی	–
Banasik et al., 2017	هزینه‌های تولید و هزینه‌های تحمیلی حمل‌ونقل و تولید بر محیط زیست	-	–	–	*	محدودیت اپسیلون	–
Mohammed and Wang, 2017	هزینه کل حمل‌ونقل و عملیاتی، زمان توزیع، میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن	متوسط میزان تحویل مقدار رضایت‌بخش محصول	*	–	–	برنامه‌ریزی فازی	زنجیره تأمین سبز

منبع: یافته‌های پژوهش

مبانی نظری و روش تحقیق

با توجه به شکل ۱، در زنجیرهٔ تأمین حلقه بستهٔ پیشنهادی، انواع زیتون با اعمال فرآیندهایی به محصولات نهایی روغن زیتون و زیتون‌های کنسروی‌شده تبدیل می‌شود. در جریان مستقیم، زیتون‌ها از زمین‌های کشاورزی به مراکز تولید ارسال می‌شوند؛ سپس، مراکز تولید به تولید روغن زیتون و زیتون‌های کنسروی‌شده می‌پردازند. تولیدکنندگان، روغن زیتون و زیتون‌های کنسروی‌شده را به توزیع‌کنندگان و نیز برای صادرات ارسال می‌کنند. همچنین، مراکز واردات، روغن زیتون و زیتون کنسروی‌شده را به مراکز توزیع ارسال می‌کنند تا بدین ترتیب، توزیع‌کنندگان بتوانند تقاضای مشتریان را از طریق محصولات دریافتی از مراکز تولید و واردات، برآورده سازند. در جریان معکوس، در روند تولید روغن زیتون و زیتون کنسروی شده، کمپوست، خوراک دام و مواد آرایشی و بهداشتی ایجاد می‌شوند؛ در زنجیره یادشده، برای حفظ محیط زیست و استفاده از مواد بازیافتی، تصمیم به ایجاد این جریان معکوس گرفته شده است. بنابراین، کمپوست‌های تولیدی برای بازیافت و استفاده مجدد به زمین‌های کشاورزی ارسال می‌شوند و به فروش می‌رسند و خوراک دام در اختیار مشتریان دام قرار می‌گیرد و برای افزایش رضایت مشتریان و حفظ محیط زیست، مواد غیرقابل بازیافت به‌منظور دفع مناسب به مراکز دفع منتقل می‌شوند. بدین صورت، زنجیرهٔ حلقه بستهٔ چنددوره‌ای، چندمحصولی و چندرده‌ای در نظرگرفته شده است.



شکل ۱- ساختار کلی زنجیره تأمین زیتون مورد بررسی در پژوهش حاضر

همچنین، پاره‌ای از ویژگی‌های زنجیرهٔ تأمین حلقه بستهٔ پیشنهادی را می‌توان به‌شرح زیر یادآور شد:

- منظور از هزینه متغیر در پژوهش حاضر هزینه‌های تولید و حمل‌ونقل است. این شبکه با ریسک‌هایی از تقاضای همه مراکز روبه روست که در پارامترها، این موضوع با علامت T در بالای هر پارامتر نشان داده شده است.
- محصولات نهایی به دو گروه روغن‌های زیتون و زیتون‌های کنسروی‌شده تقسیم می‌شوند.

مجموعه‌ها

T:	مجموعهٔ دوره‌های زمانی $t \in T$	J:	مجموعهٔ بالقوه از مراکز تولید روغن زیتون و زیتون کنسروی‌شده $j \in J$
O:	مجموعهٔ زیتون‌های خام $o \in O$	E:	مجموعهٔ مراکز صادرات $e \in E$
P:	مجموعهٔ روغن‌های زیتون p	F:	مجموعهٔ مراکز توزیع $f \in F$
P':	مجموعهٔ زیتون‌های کنسروی‌شده $p' \in P'$	M:	مجموعهٔ مشتریان $m \in M$
S:	مجموعهٔ مراکز بالقوه تأمین‌کننده زیتون (باغداران) $s \in S$	G:	مجموعهٔ بالقوه از مراکز واردات $g \in G$
L:	مجموعهٔ محصول برگشتی به‌صورت کمپوست	K:	مجموعهٔ بالقوه از مراکز دفع $k \in K$

H: مجموعهٔ مواد دفعی و غیرقابل بازیافت

C مجموعهٔ محصول برگشتی به‌صورت خوراک دام

N مجموعهٔ محصول برگشتی به‌صورت آرایشی و بهداشتی

U: مجموعهٔ بالقوه از مراکز مشتری خوراک دام $u \in U$

W: مجموعهٔ بالقوه از کارخانه‌های آرایشی و بهداشتی $w \in W$

متغیرهای تصمیم

X_{sojt}: میزان زیتون o ارسالی از تأمین‌کنندهٔ s به مراکز تولید j در دوره زمانی t

YF_{jpft}: میزان محصولات نهایی p ارسالی از مراکز تولید j به مراکز توزیع f در دوره زمانی t

YE_{jpet}: میزان محصولات نهایی p ارسالی از مراکز تولید j به مراکز صادرات e در دوره زمانی t

YG_{gpft}: میزان محصولات نهایی p ارسالی از مراکز واردات g به مراکز توزیع f در دوره زمانی t

YM_{fpmt}: میزان محصولات نهایی p ارسالی از مراکز توزیع f به مشتری m در دوره زمانی t

ZO_{gojt}: میزان زیتون خام O ارسالی از واردات g به مراکز تولید j در دوره زمانی t

$ZE_{jp'et}$: میزان محصولات نهایی p' ارسالی از مراکز تولید j به مراکز صادرات e در دوره زمانی t

RL_{jLst}: مقدار کمپوست برگشتی L از مراکز تولید j به مراکز تأمین‌کننده (زمین‌های کشاورزی) s در دوره زمانی t

RN_{jnwt}: مقدار پسماند غیرخوراکی n از مراکز تولید j به مراکز آرایشی و بهداشتی w در دوره زمانی t

RC_{jcut}: مقدار خوراک دام برگشتی c از مراکز تولید j به مشتری خوراک دام u در دوره زمانی t

RH_{jhkt}: مقدار مواد غیرقابل برگشت h از مراکز تولید j به مراکز دفع k در دوره زمانی t

ρ_{jt}: میزان پسماندهای ایجادشده در مراکز تولید j در دوره زمانی t

QS_s: متغیر دودویی برابر با یک خواهد شد، اگر از تأمین‌کننده (زمین‌های کشاورزی) s محصولی خریداری شود؛ در غیر این صورت، صفر خواهد شد.

QJ_j: متغیر دودویی برابر با یک خواهد شد، اگر مراکز تولید j وجود داشته باشد؛ در غیر این‌صورت، صفر خواهد شد.

$ZF_{jp'ft}$: میزان محصولات نهایی p' ارسالی از مراکز تولید j به مراکز توزیع f در دوره زمانی t

$ZG_{gp'ft}$: میزان محصولات نهایی p' ارسالی از مجموعه وارداتg به مراکز توزیع f در دوره زمانی t

$ZM_{fp'mt}$: میزان محصولات نهایی p' ارسالی از مراکز توزیع f به مشتری m در دوره زمانی t

φF_{jpft}: میزان محصولات تأمین‌نشدهٔ p ارسالی از مراکز تولید j به مراکز توزیع f در دوره زمانی t

φM_{fpmt}: میزان محصولات تأمین‌نشدهٔ p ارسالی از مراکز توزیع f به مشتری m در دوره زمانی t

$\gamma F_{jp'ft}$: میزان محصولات تأمین‌نشدهٔ p' ارسالی از مراکز تولید j به مراکز توزیع fدر دوره زمانی t

$\gamma M_{fp'mt}$: میزان محصولات تأمین‌نشدهٔ p' ارسالی از مراکز توزیع f به مشتری m در دوره زمانی t

QK_k: متغیر دودویی برابر با یک خواهد شد، اگر مراکز دفع k وجود داشته باشد؛ در غیر این صورت، صفر خواهد شد.

QF_f: متغیر دودویی برابر با یک خواهد شد، اگر مراکز توزیع f وجود داشته باشد؛ در غیر این صورت، صفر خواهد شد.

QG_g: متغیر دودویی برابر با یک خواهد شد، اگر به مراکز توزیع f از مجموعه واردات g روغن زیتون ارسال گردد؛ در غیر این صورت، صفر خواهد شد.

QE_e: متغیر دودویی برابر با یک خواهد شد، اگر به مراکز صادرات e محصولات نهایی ارسال شود؛ در غیر این صورت، صفر خواهد شد.

QU_u: متغیر دودویی برابر با یک خواهد شد، اگر مرکز مشتری خوراک دام u وجود داشته باشد؛ در غیر این صورت، صفر خواهد شد.

QW_w: متغیر دودویی برابر با یک خواهد شد، اگر مرکز مشتری پسماند آرایشی و بهداشتی w وجود داشته باشد؛ در غیر این صورت، صفر خواهد شد.

پارامترها

dPE^{T}_{jpet}: مقدار تقاضای مراکز صادرات e برای محصول p از مراکز تولید j در دوره زمانی t

dPM^{T}_{pmt}: مقدار تقاضای مشتری m برای محصول p در دوره زمانی t

$TF_{jp'ft}$: هزینه متغیر محصولات نهایی p' از مراکز تولید j به مراکز توزیع f در دوره زمانی t

$TG_{gp'ft}$: هزینه متغیر محصول p' از مجموعه واردات g به مراکز توزیع f در دوره زمانی t

$dE^{T}_{jp'et}$: مقدار تقاضای مراکز صادرات e برای محصول p' از مراکز تولید j در دوره زمانی t

$dM^{T}_{p'mt}$: مقدار تقاضای مشتری m برای محصول p' در دوره زمانی t

LCM_{mpft}: هزینهٔ فروش ازدست‌رفته هر واحد از تقاضای تأمین‌نشدهٔ مشتری m برای محصول p از مرکز توزیع f در دوره زمانی t

$LM_{mp'ft}$: هزینهٔ فروش ازدست‌رفته هر واحد از تقاضای تأمین‌نشدهٔ مشتری m برای محصول p' از مرکز توزیع f در دوره زمانی t

$CGO_{go|t}$: ظرفیت واردات g برای تأمین زیتون خام o ارسالی در دوره زمانی t

$CSO_{so|t}$: ظرفیت زمین‌های کشاورزی s برای تولید زیتون o ارسالی در دوره زمانی t

CGP_{gpft}: ظرفیت واردات g برای ارسال محصول p در دوره زمانی t

CFF_{fpmt}: ظرفیت مراکز توزیع f برای ارسال محصول p در دوره زمانی t

$CG_{gp'ft}$: ظرفیت واردات g برای ارسال محصول p' در دوره زمانی t

$TM_{fp'mt}$: هزینه متغیر محصولات نهایی p' از مراکز توزیع f به مشتری m در دوره زمانی t

TL_{jLst}: هزینه متغیر کمپوست برگشتی L از مراکز تولید j به مراکز تأمین‌کننده (زمین‌های کشاورزی s) در دوره زمانی t

TU_{jcut}: هزینه متغیر خوراک دام برگشتی c از مراکز تولید j به مشتری خوراک دام u در دوره زمانی t

TH_{jhkt}: هزینه متغیر مواد غیرقابل برگشت h از مراکز تولید j به مراکز دفع k در دوره زمانی t

TN_{jnwt}: هزینه متغیر آرایشی و بهداشتی n از مراکز تولید j به مراکز آرایشی و بهداشتی w در دوره زمانی t

$TO_{go|t}$: هزینه متغیر زیتون خام o از مراکز واردات g به مراکز تولید j در دوره زمانی t

PF_{jpft}: قیمت هر واحد محصول p ارسالی از مراکز تولید j به مراکز توزیع f در دوره زمانی t

PM_{pfmt}: قیمت هر واحد محصول p ارسالی از مراکز توزیع f به مشتری m در دوره زمانی t

PE_{jpet}: قیمت هر واحد محصول نهایی p ارسالی از مراکز تولید j به مراکز صادرات e در دوره زمانی t

$CF_{fp'mt}$: ظرفیت مراکز توزیع f برای ارسال محصول p' در دوره زمانی t

$CJPF_{jpft}$: ظرفیت کارخانهٔ j برای تولید محصول p ارسالی به مراکز توزیع f در دوره زمانی t

$CJF_{jp'ft}$: ظرفیت کارخانهٔ j برای تولید محصول p' ارسالی به مراکز توزیع f در دوره زمانی t

CRS_{jLst}: ظرفیت کارخانهٔ تولید j برای نگهداری کمپوست L در دوره زمانی t

CRU_{jcut}: ظرفیت کارخانهٔ تولید j برای نگهداری خوراک دام c در دوره زمانی t

CRW_{jnwt}: ظرفیت کارخانهٔ تولید j برای نگهداری مواد آرایشی و بهداشتی n در دوره زمانی t

CRH_{jhkt}: ظرفیت کارخانهٔ تولید j برای نگهداری مواد غیرقابل بازیافت h در دوره زمانی t

RS: نرخ بازگشت کمپوست

RU: نرخ بازگشت خوراک دام c از مراکز تولید

RW: نرخ بازگشت مواد آرایشی و بهداشتی

TSI_{sojt}: هزینه متغیر زیتون o از تأمین‌کننده s به مراکز تولید j در دوره زمانی t

TJE_{jpet}: هزینه متغیر محصولات نهایی p از مراکز تولیدj به مراکز صادرات e در دوره زمانی t

$PRF_{jp'ft}$: قیمت هر واحد محصول p' ارسالی از مراکز تولید j به مراکز توزیع f در دوره زمانی t

$PRM_{fp'mt}$: قیمت هر واحد محصول p' ارسالی از مراکز توزیعf به مشتری m در دوره زمانی t

$PRE_{jp'et}$: قیمت هر واحد محصول نهایی p' ارسالی از مراکز تولید j به مراکز صادرات e در دوره زمانی t

PS_{sojt}: قیمت هر واحد زیتون o ارسالی از تأمین‌کنندهٔ s به مراکز تولید j در دوره زمانی t

PL_{jLst}: قیمت هر واحد کمپوست برگشتی L از مراکز تولید j به مراکز تأمین‌کننده (زمین‌های کشاورزی) s در دوره زمانی t

PC_{jcut}: قیمت هر واحد خوراک دام c از مراکز تولید j به مشتری خوراک دام u در دوره زمانی t

PN_{jnwt}: قیمت هر واحد مواد آرایشی و بهداشتی n از مراکز تولید j به مراکز آرایشی و بهداشتی w در دوره زمانی t

β: درصد روغن زیتون تولیدی از زیتون‌های خریداری‌شده از باغداران

τ: درصد زیتون‌های کنسروی‌شده از زیتون های خریداری‌شده از باغداران

α: درصد قابل تبدیل پسماندها به مواد بازیافتی

CQF_f: هزینه ثابت مراکز توزیع f

CQJ_j: هزینه ثابت مراکز تولید j

TJF_{jpft}: هزینه متغیر محصولات نهایی p از مراکز تولید j به مراکز توزیع f در دوره زمانی t

TGF_{gpft}: هزینه متغیر محصول P از مجموعه واردات g به مراکز توزیع f در دوره زمانی t

TFM_{fpmt}: هزینه متغیر محصولات نهایی p از مراکز توزیع f به مشتری m در دوره زمانی t

$TE_{jp'et}$: هزینه متغیر محصولات نهایی p' از مراکز تولید j به مراکز صادرات e در دوره زمانی t

CQG_g: هزینه ثابت مربوط به مجموعه واردات g

CQS_s: هزینه ثابت مراکز تأمین‌کننده s

CQU_u: هزینه ثابت مربوط به احداث مراکز مشتری خوراک دام u

CQW_w: هزینه ثابت مربوط به احداث مراکز مشتری آرایشی و بهداشتی w

توابع هدف

(۱)

$$Min Z_1 = \left(\sum_j \sum_h \sum_r RH_{jhrt}\left(TH_{jhrt}\right)\right) / \left[\sum_j \sum_l \sum_s \sum_t RL_{jlst}\left(PL_{jlst} - TL_{jlst}\right) + \sum_j \sum_e \sum_u \sum_t RC_{jeut}\left(PC_{jeut} - TU_{jeut}\right) + \sum_j \sum_n \sum_w \sum_t RN_{jnwt}\left(PN_{jnwt} - TN_{jnwt}\right)\right]$$

(۲)

$$\begin{aligned} Max Z_2 = {} & \sum_s \sum_o \sum_j \sum_t \left(X_{sojt} * \left(PS_{sojt} - TSJ_{sojt}\right)\right) + \sum_j \sum_p \sum_f \sum_t \left(YF_{jpft} * \left(PF_{jpft} - TJF_{jpft}\right)\right) + \sum_j \sum_p \sum_e \sum_t \left(YE_{jpet} * \left(PE_{jpet} - TJE_{jpet}\right)\right) - \\ & \sum_g \sum_p \sum_f \sum_t \left(YG_{gpft} * TGF_{gpft}\right) + \sum_f \sum_p \sum_m \sum_t \left(YM_{fpmt} * \left(PM_{fpmt} - TFM_{fpmt}\right)\right) + \\ & \sum_j \sum_{p'} \sum_e \sum_t \left(ZE_{jp'et} * \left(PRE_{jp'et} - TE_{jp'et}\right)\right) + \sum_j \sum_{p'} \sum_f \sum_t \left(ZF_{jp'ft} * \left(PRF_{jp'ft} - TF_{jp'ft}\right)\right) - \sum_g \sum_{p'} \sum_f \sum_t \left(ZG_{gp'ft} * \left(TG_{gp'ft}\right)\right) + \\ & \sum_f \sum_{p'} \sum_m \sum_t \left(ZM_{fp'mt} * \left(PRM_{fp'mt} - TM_{fp'mt}\right)\right) + \sum_j \sum_l \sum_s \sum_t \left(RL_{jlst} * \left(PL_{jlst} - TL_{jlst}\right)\right) + \sum_j \sum_e \sum_u \sum_t \left(RC_{jeut} * \left(PC_{jeut} - TU_{jeut}\right)\right) + \\ & \sum_j \sum_n \sum_w \sum_t \left(RN_{jnwt} * \left(PN_{jnwt} - TN_{jnwt}\right)\right) - \sum_g \sum_o \sum_j \sum_t \left(ZO_{gojt} * TO_{gojt}\right) - \\ & \sum_m \sum_p \sum_f \sum_t \left(\varphi M_{mpft} * \left(LCM_{mpft}\right)\right) - \sum_m \sum_{p'} \sum_f \sum_t \left(YM_{mp'ft} * \left(LM_{mp'ft}\right)\right) - \\ & \sum_f \left(CQF_f * QF_f\right) - \sum_j \left(CQJ_j * QJ_j\right) - \sum_f \left(CQG_g * QG_g\right) - \sum_s \left(CQS_s * QS_s\right) - \\ & \sum_u \left(CQU_u * QU_u\right) - \sum_w \left(CQW_w * QW_w\right) - \sum_k \left(CQK_k * QK_k\right) \end{aligned}$$

رابطهٔ (۱)، اولین تابع هدف پژوهش حاضر، نشان‌دهندهٔ حداقل‌سازی هزینه‌های آلاینده‌های حاصل از فرآیند فرآوری محصول زیتون است، که به‌صورت غیرخطی نوشته شده است؛ صورت کسر «هزینه‌های متغیر مربوط به ایجاد پسماندها» و مخرج کسر «سود حاصل از به‌کارگیری پسماندها» را نشان می‌دهد.

رابطهٔ (۲)، دومین تابع هدف پژوهش حاضر، بیانگر حداکثرسازی سود کل زنجیره است. در این رابطه، سود مراکز تأمین‌کننده، تولید، توزیع و صادرات و هزینهٔ واردات، هزینهٔ فروش از دست‌رفته، هزینه احداث مراکز و قرارداد با مراکز واردات و صادرات در نظر گرفته شده است.

محدودیت‌ها

$$\sum_p \sum_f YF_{jpft} + \sum_p \sum_e YE_{jpet} + \rho_{jt} \leq \beta * \left(\sum_s \sum_o X_{sojt} + \sum_g \sum_o ZO_{gojt}\right) \quad \forall j,t \quad (۳)$$

$$\sum_{p'} \sum_e ZE_{jp'et} + \sum_{p'} \sum_f ZF_{jp'ft} \leq \tau * \left(\sum_s \sum_o X_{sojt} + \sum_g \sum_o ZO_{gojt}\right) \quad \forall j,t \quad (۴)$$

$$\rho_{jt} \leq \sum_j \alpha * \beta * \left[\sum_s \sum_o X_{sojt} + \sum_g \sum_o ZO_{gojt}\right] \quad \forall j,t \quad (۵)$$

$$\sum_f YM_{fpmt} + \sum_f \varphi M_{fpmt} \geq dPM^T_{fpmt} \quad \forall p,m,t \quad (۶)$$

$$\sum_f ZM_{fp'mt} + \sum_f \gamma M_{fp'mt} \geq dM^T_{fp'mt} \quad \forall p',m,t \quad (۷)$$

$$\sum_j YF_{jpft} + \sum_g YG_{gpft} + \sum_j \varphi F_{jpft} \geq \sum_m YM_{fpmt} \quad \forall f,p,t \quad (۸)$$

$$\sum_j ZF_{jp'ft} + \sum_g ZG_{gp'ft} + \sum_j \gamma F_{jp'ft} \geq \sum_m ZM_{fp'mt} \quad \forall f,p',t \quad (۹)$$

$$\sum_j YE_{jpet} \leq dPE^T_{jpet} * QE_e \quad \forall p,e,t \quad (۱۰)$$

$$\sum_j ZE_{jp'et} \leq dE^T_{jp'et} * QE_e \quad \forall p',e,t \quad (۱۱)$$

$$\sum_j \sum_o \sum_t X_{sojt} \leq \sum_o \sum_t CSO_{sojt} * QS_s \quad \forall s \quad (۱۲)$$

$$\sum_j \sum_o \sum_t ZO_{gojt} \leq \sum_o \sum_t CGO_{gojt} * QG_g \quad \forall g \quad (۱۳)$$

$$\sum_p \sum_f \sum_t YF_{jpft} + \sum_p \sum_e \sum_t YE_{jpet} \leq \sum_p \sum_t CJPF_{jpft} * QJ_j \quad \forall j \quad (۱۴)$$

$$\sum_p \sum_f \sum_t YG_{gpft} \leq \sum_p \sum_t CGP_{gpft} * QG_g \quad \forall g \quad (۱۵)$$

$$\sum_p \sum_m \sum_t YM_{fpmt} \leq \sum_p \sum_t CFP_{fpmt} * QF_f \quad \forall f \quad (۱۶)$$

$$\sum_{p'} \sum_f \sum_t ZF_{jp'ft} + \sum_{p'} \sum_e \sum_t ZE_{jp'et} \leq \sum_{p'} \sum_t CJF_{jp'ft} * QJ_j \quad \forall j \quad (۱۷)$$

$$\sum_{p'} \sum_f \sum_t ZG_{gp'ft} \leq \sum_{p'} \sum_t CG_{gp'ft} * QG_g \quad \forall g \quad (۱۸)$$

$$\sum_{p'} \sum_m \sum_t ZM_{fp'mt} \leq \sum_{p'} \sum_t CF_{fp't} * QF_f \quad \forall f \quad (۱۹)$$

$$\sum_j \sum_l \sum_t RL_{jlst} \leq \sum_j \sum_l \sum_t CRS_{jlst} * QS_s \quad \forall s \quad (۲۰)$$

$$\sum_j \sum_c \sum_t RC_{jcut} \leq \sum_j \sum_c \sum_t CRU_{jcut} * QU_u \quad \forall u \quad (۲۱)$$

$$\sum_j \sum_n \sum_t RN_{jnwt} \leq \sum_j \sum_n \sum_t CRW_{jnwt} * QW_w \quad \forall w \quad (۲۲)$$

$$\sum_j \sum_h \sum_t RH_{jhkt} \leq \sum_j \sum_h \sum_t CRH_{jhkt} * QK_k \quad \forall k \quad (۲۳)$$

$$\sum_r \sum_s RL_{jrst} = \sum_t \rho_{jt} * RS \quad \forall jt \quad (۲۴)$$

$$\sum_s \sum_u RC_{jcut} = \sum_t \rho_{jt} * RU \quad \forall j,t \quad (۲۵)$$

$$\sum_n \sum_w RN_{jnwt} = \sum_t \rho_{jt} * RW \quad \forall j,t \quad (۲۶)$$

$$\sum_h \sum_k RH_{jhkt} = \sum_t \rho_{jt} - \left[\sum_l \sum_s RL_{jlst} + \sum_c \sum_u RC_{jcut} + \sum_n \sum_w RN_{jnwt}\right] \quad \forall j,t \quad (۲۷)$$

$$\sum_k QS_s \leq s \quad (۲۸)$$

$$\sum_j QJ_j \leq j \quad (۲۹)$$

$$\sum_t QK_k \leq k \quad (۳۰)$$

$$\sum_f QF_f \leq f \quad (۳۱)$$

$$\sum_g QG_g \leq g \quad (۳۲)$$

$$\sum_u QU_u \leq u \quad (۳۳)$$

$$\sum_w QW_w \leq w \quad (۳۴)$$

$$\sum_k QS_s \geq 1 \quad (۳۵)$$

$$\sum_j QJ_j \geq 1 \quad (۳۶)$$

$$\sum_t QK_k \geq 0 \quad (۳۷)$$

$$\sum_f QF_f \geq 1 \quad (۳۸)$$

$$\sum_g QG_g \geq 0 \quad (۳۹)$$

$$\sum_e QE_e \geq E \quad (۴۰)$$

$$\sum_u QU_u \geq 0 \quad (۴۱)$$

$$\sum_w QW_w \geq 0 \quad (۴۲)$$

$$QW_w + QU_u + QK_k + QS_s \geq QJ_j \quad \forall j,w,u,k,s \quad (۴۳)$$

$$QS_s, QJ_j, QF_f, QG_g, QE_e, QU_u \in \{0,1\} \quad (۴۴)$$

$$X_{soit}, YF_{jpft}, YE_{jpet}, YG_{gpft}, YM_{fpmt}, ZE_{jp'et}, ZF_{jp'ft} \geq 0 \quad (۴۵)$$

$$ZG_{gp'ft}, ZM_{fp'mt}, RL_{jlst}, RC_{jcut}, RH_{jhkt}, RN_{jnwt} \geq 0$$

روابط (۳) تا (۴۵) به محدودیت‌های وارده بر شبکهٔ یادشده اشاره دارند. رابطهٔ (۳) بیانگر این است که مجموع مقادیر روغن زیتون تولیدی ارسالی به مراکز توزیع و صادرات و پسماندهای حاصل از روغن‌کشی باید کوچک‌تر و یا برابر با میزان زیتون قابل روغن‌کشی باشد. رابطهٔ (۴) همچون رابطهٔ (۳) در مورد زیتون‌های کنسروی‌شده است. رابطهٔ (۵) نشان می‌دهد که باید میزان پسماندهای حاصل از روغن‌کشی کمتر و یا مساوی با میزان روغن و مواد بازیافتی قابل استحصال از زیتون باشد. روابط (۶) و (۷) بیانگر آن است که مجموع محصول تولیدی و تأمین‌نشدهٔ آن محصول بیشتر و یا مساوی تقاضای آن محصول است. روابط (۸) و (۹) نشان می‌دهد که تقاضای مشتری ابتدا از محصول تولیدی داخل و در صورت کمبود تولید داخلی، با واردات تا حد امکان تأمین می‌شود. بر اساس روابط (۱۰) و (۱۱)، میزان محصول نهایی ارسالی از مراکز تولید به مراکز صادرات کمتر و یا مساوی با تقاضای مراکز صادرات برای محصول (روغن زیتون و زیتون کنسروی‌شده) است. روابط (۱۲) تا (۲۳) بیانگر محدودیت‌های ظرفیت مراکز زنجیرهٔ تأمین است. محدودیت‌های مقادیر کمپوست، خوراک دام، آرایشی و بهداشتی و مواد غیرقابل بازیافت، به‌ترتیب، از طریق روابط (۲۴) تا (۲۷) در نظر گرفته شده است. محدودیت‌های حداکثر و حداقل تعداد مکان‌های احداث‌شده، به‌ترتیب، از طریق روابط (۲۸) تا (۳۴) و (۳۵) تا (۴۲) مدل‌سازی شده است. محدودیت‌های روابط (۳۵)، (۳۶) و (۳۸) بدین معنی است که حداقل باید یک واحد زمین کشاورزی، یک مرکز تولید و یک مرکز توزیع وجود داشته باشد تا زنجیرهٔ تأمین یادشده تشکیل شود. محدودیت ارائه‌شده در قالب رابطهٔ (۴۳) بدین مفهوم است که به ازای هر مرکز تولید، باید حداقل یکی از مراکز دفع، خوراک دام، مراکز آرایشی و بهداشتی و یا زمین کشاورزی تشکیل شود، زیرا باید پسماندهای حاصل از تولید به نحوی از مراکز تولید خارج شوند. در آخر، محدودیت‌های روابط (۴۴) و (۴۵) به متغیرهای مسئله و همچنین، صفر و یک بودن برخی از آنها اشاره دارند.

به‌منظور ارزیابی ریسک، سنجه‌های مختلفی چون امید ریاضی، واریانس (انحراف معیار)، ضریب تغییرات، ارزش در معرض ریسک[1] و ارزش در معرض ریسک شرطی[2] ارائه شده‌اند. ارزش در معرض ریسک شرطی یک سنجهٔ ریسک شناخته‌شده است که می‌تواند اشکالات سنجه‌های ریسک پیشین همچون ارزش در معرض ریسک را پوشش دهد و نکاتی مثبت را به آنها بیفزاید. ارزش در معرض ریسک شرطی سنجه‌ای منسجم و محدب است و می‌تواند نشانه‌ای در مورد شدت از دست دادن را ارائه کند و بر اساس همین عملکرد، می‌توان از آن در زمینه‌های مختلف بهینه‌سازی به‌ویژه بهینه‌سازی مالی، مدیریت بحران و طراحی شبکه‌های تدارکات معکوس استفاده کرد (Soleimani and Govindan, 2014). ارزش در معرض ریسک عبارت است از حداکثر زیانی که از یک سطح معین (c) تجاوز نمی‌کند، که به‌صورت رابطهٔ (۴۶) نشان داده می‌شود. X یک متغیر تصادفی است که زیان را نشان می‌دهد و α سطح اطمینان (بین صفر و یک) است. ارزش در معرض ریسک شرطی برای توابع توزیع پیوسته به‌صورت رابطهٔ (۴۷) بیان می‌شود.

$$\mathrm{VaR}_{\alpha}(X) = \min\{c : P(X \leq c) \geq \alpha\} \quad (۴۶)$$

$$\mathrm{CVaR}_{\alpha}(X) = E(X | X \geq \mathrm{VaR}_{\alpha}(X)) \quad (۴۷)$$

در پژوهش حاضر، فرض شده است که پارامترهای تقاضای تمام مراکز از توزیع یکنواخت پیروی می‌کنند و تحت ریسک هستند. بنابراین، ارزش در معرض ریسک شرطی طبق رابطه (۴۷) با در نظرگرفتن روابط زیر برای توزیع یکنواخت $X \sim U(a,b)$ به‌صورت رابطهٔ (۵۰) خواهد شد (Kisiala, 2015).

تابع چگالی احتمال توزیع یکنواخت پیوسته : $f_x(z) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & a \leq z \leq b \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$ (۴۸)

1. Value-at-Risk (VaR)
2. Conditional Value-at-Risk (CVaR)

VaR در سطح اطمینان β: $\mathrm{VaR}_{\beta}(X) = (b-a) \times \beta$ (۴۹)

CVaR در سطح اطمینان α:

$$\mathrm{CVaR}_{\alpha}(X) = \frac{1}{1-\alpha}\int_{\alpha}^{1} \mathrm{VaR}_{\beta}(X)\, d\beta = \frac{1}{1-\alpha}\int_{\alpha}^{1} (b-a) \times \beta\, d\beta = \frac{b-a}{1-\alpha}\left[\frac{1}{2}\beta^{2}\right]_{\alpha}^{1} = \frac{b-a}{2} \times (1+\alpha) \quad (۵۰)$$

با توجه به نوع مدل پژوهش حاضر که برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط است، به‌علت وجود تدارکات معکوس، طبق مطالعهٔ سلیمانی و کنعان (Soleimani and Kannan, 2015)، مسائل زنجیره تأمین حلقه بسته در رده مسائل NP-hard[1] قرار می‌گیرند. برای این‌گونه مسائل، الگوریتم مؤثر اثبات‌شده‌ای وجود ندارد؛ بنابراین، با توجه به پیشینهٔ پژوهش‌ها، الگوریتم ژنتیک از گروه الگوریتم‌های فراابتکاری یکی از روش‌های مناسب برای حل مسئله مورد نظر است. همچنین، پژوهش حاضر بر آن است که به کمک ارزش در معرض ریسک شرطی، مدل را به سمت دنیای واقعی سوق دهد. بدین منظور، الگوریتم ژنتیک همراه با ارزش در معرض ریسک شرطی با احتمال نود درصد به‌کار گرفته شده است.

داده‌های مورد نیاز پژوهش حاضر برای ایران از شروع زنجیره یعنی، باغ‌های زیتون تا خرده‌فروش‌ها، با مطالعات کتابخانه‌ای، اطلاعات موجود در وزارت جهاد کشاورزی، گمرک، سازمان صنایع و معادن و دبیرخانه هیئت عالی نظارت بر سازمان‌های صنفی کشور برای سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷ جمع‌آوری شده است.

۱- مسائلی که برای یافتن جواب به زمان زیادی نیاز دارند (Non-deterministic Polynomial-time hard).

نتایج و بحث

در این بخش، به‌منظور نمایش نحوهٔ کاربرد مدل ریاضی پیش‌گفته، داده‌های استخراج‌شده از زنجیرهٔ تأمین زیتون ایران با در نظر گرفتن تقاضاهای مسئله در حالت وجود ریسک و با فرض احتساب کلیه مراکز زنجیره بررسی شده است.

نتایج بررسی زنجیره تأمین مطالعه موردی بر اساس سه دورهٔ قبل در دو حالت زنجیرهٔ تأمین فعلی و زنجیرهٔ تأمین اصلاحی در جدول ۳ آمده است. طبق مقادیر زنجیرهٔ فعلی برای تابع هدف اول Z_1 و دوم Z_2، می‌توان دریافت که این زنجیره با مقدار ۵۵۴۱۷۲۱۰ میلیون ریال سودآور است، اما در راستای حفاظت از محیط زیست، به‌خوبی عمل نکرده و حدود نیمی از محصولات برگشتی را به میزان ۷۵۰ تن دفع و بقیه را برای تولید خوراک دام و میزان بسیار کمی را در تولید کمپوست و استفاده در مواد آرایشی و بهداشتی به‌کار برده است، به‌گونه‌ای که هرچه تابع هدف اول (یعنی، نسبت هزینهٔ دفع پسماندها به سود بازیافت پسماند) به صفر نزدیک‌تر باشد، دفع کمتر صورت گرفته و از این‌رو، هم به محیط زیست کمک شده و هم سودآوری برای زنجیره حفظ شده است.

جدول ۳- نتایج بررسی زنجیره تأمین مطالعه موردی در حالت وجود ریسک

متغیرهای تصمیم	مقادیر فعلی (تن)	مقادیر زنجیره اصلاحی (تن)	درصد تغییر ستون‌های ۲ و ۳	متغیرهای تصمیم	مقادیر فعلی (تن)	مقادیر زنجیره اصلاحی (تن)	درصد تغییر ستون‌های ۲ و ۳
Z_1 نسبت هزینه دفع به سود بازیافت پسماندها	۴۳۴/۶۸	۹۰/۷۸	-۷۹	$ZM_{ijt'm}$ میزان کسرو از توزیع به مشتری	۹۹۳۳/۲	۹۹۳۳/۲	۰
Z_2 حداکثرسازی سود کل زنجیره	۵۵۴۱۷۲۱۰ (میلیون ریال)	۵۵۴۱۷۳۰۱ (میلیون ریال)	جزئی	φF_{ikt} میزان روغن تأمین‌نشده از کارخانه به توزیع	۰	۰	۰
X_{ssjk} میزان زیتون از باغ به کارخانه	۱۲۰۷۵	۱۲۱۹۷	۱	φI_{kjm} میزان روغن تأمین‌نشده از توزیع به مشتری	۰	۰	۰

متغیرهای تصمیم	مقادیر فعلی (تن)	مقادیر زنجیره اصلاحی (تن)	درصد تغییر ستون‌های ۲ و ۳	متغیرهای تصمیم	مقادیر فعلی (تن)	مقادیر زنجیره اصلاحی (تن)	درصد تغییر ستون‌های ۲ و ۳
PF_{jnt} میزان روغن از کارخانه به توزیع	۱۸۹۳/۴	۱۸۹۳/۴	۰	$YF_{ip't}$ میزان کنسرو تأمین-نشده از کارخانه به توزیع	۰	۰	۰
PE_{jnt} میزان روغن صادراتی کارخانه	۸/۷۷	۱۹	۱۱۶	$YM_{ip'mt}$ میزان کنسرو تأمین-نشده ازتوزیع به مشتری	۰	۰	۰
PG_{gnt} میزان روغن وارداتی به توزیع	۰	۰	۰	RL_{jkt} مقدار کمپوست از کارخانه به باغ	۱۲۳/۱۶	۲۴۸/۸۱	۱۰۲
PM_{jmt} میزان روغن از توزیع به مشتری	۱۸۹۳/۴	۱۸۹۳/۴	۰	RN_{rmt} مقدار مواد برگشتی به مراکز آرایشی و بهداشتی	۱۱۲/۵	۲۰۶/۲۵	۸۳
ZO_{gnt} میزان زیتون خام وارداتی	۰	۰	۰	RC_{jmt} مقدار خوراک دام از کارخانه به مشتری خوراک دام	۲۴۶/۳۲	۴۹۷/۶۲	۱۰۲
$ZE_{ip'nt}$ میزان کنسرو صادراتی کارخانه	۸۸/۶۸	۱۹۰	۱۱۴	RH_{jkht} مقدار مواد غیرقابل برگشت به مراکز دفع	۷۵۰	۲۹۲	-۶۱
$ZF_{ip't}$ میزان کنسرو از کارخانه به توزیع	۹۹۳۳/۲	۹۹۳۳/۲	۰	p_{jt} میزان پسماندهای ایجاد شده در مراکز تولید	۱۲۳۱/۶	۱۲۴۴/۱	۱
$ZG_{gp't}$ میزان کنسرو وارداتی به توزیع	۰	۰	۰				

منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به نسبت ۴۳۴/۶۸ در جدول ۳، زنجیره تأمین فعلی ایران در زمینهٔ بازیافت پسماند ضعیف عمل می‌کند. از دلایل استفاده نسبتا کم از پسماندهای زیتون در زمین‌های

کشاورزی می‌توان به مسافت باغ‌ها از کارخانه‌ها اشاره کرد، زیرا به‌طور معمول، کارخانه‌ها در جاهای دورافتاده احداث شده‌اند و برای صنایع تبدیلی به‌صرفه نیست که کمپوست تولیدی را به زمین‌های کشاورزی برسانند. همچنین، میزان پلی فنول در پساب حاصل از فرآوری زیتون بسیار بالاست و برای استفاده از پسماندهای زیتون در باغ‌ها، لازم است برای پیشگیری از سوختگی درختان، این مواد از پساب استخراج شود. پلی فنول‌های موجود در پساب زیتون زیرمجموعه‌ای از فلاونوئیدهاست که به‌عنوان آنتی‌اکسیدان در تولید دارو و مواد آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود. البته در ایران، به‌دلیل عدم عرضه و یا عرضه نامناسب این دست از پساب و پسماندها و همچنین، عدم برآورد تقاضای آن، استفاده از پلی فنول‌های پساب و پسماند زیتون در بخش دارویی و آرایشی و بهداشتی به‌ندرت صورت می‌گیرد.

در جدول ۳، میزان زیتون خام وارداتی زنجیرهٔ فعلی صفر است، زیرا واردات زیتون خام به‌منظور جلوگیری از ورود آفات به کشور ممنوع است و در نهایت، برای تأمین بقیهٔ تقاضای روغن و فرآورده‌های زیتون که با تولید داخل تأمین نشود، تنها واردات زیتون فرآوری‌شده صورت می‌گیرد. با این همه، چنان‌که از نتایج جدول ۳ برمی‌آید، میزان واردات فرآورده‌های زیتون صفر است؛ بنابراین، نیاز به واردات در این زنجیره در شرایط ریسک وجود ندارد و کلیهٔ نیاز بازار و تقاضای مراکز صادرات بدون هیچ فروش ازدست‌رفته‌ای توسط زنجیره تأمین می‌شود. صفر شدن مقدار زیتون خام وارداتی در زنجیرهٔ اصلاحی نیز به‌خوبی گویای این موضوع است که با وجود آزاد بودن واردات، ظرفیت زنجیرهٔ یادشده جواب‌گوی تقاضای فعلی است و نیاز به واردات زیتون خام و فرآوری‌شده نیست. دلیل اعمال واردات زیتون خام در مدل پیشنهادی تشکیل یک زنجیرهٔ تأمین کلی است که در هر شرایطی و بسته به نیاز، قابل برآورد باشد، به‌گونه‌ای که اگر سیاست‌های دولت تغییر کند و از ظرفیت‌های تولیدی صنایع تبدیلی بیشتر استفاده و لازم شود که صادرات مازاد نیاز داخلی محصولات این صنایع صورت گیرد، نیاز به زیتون خام بیشتری با توجه به تولید داخل احساس خواهد شد. همچنین، چنانچه

راهکاری برای قرنطینه مناسب زیتون خام وارداتی برای جلوگیری از ورود آفت مگس زیتون اندیشیده شود، نیاز به دخالت دادن این بخش از واردات در مدل نیز خواهد بود.

همچنین، در سال ۱۳۹۷، برای حمایت از تولیدکنندگان داخلی، روغن زیتون از گروه یک واردات حذف شد. بدین صورت، واردکنندگان نمی‌توانند با ارز دولتی فرآورده‌های زیتون را به کشور وارد کنند. در واقع، این راهکاری بوده که برای کوتاه کردن دست دلالان در افزایش واردات این محصولات، وزارت جهاد کشاورزی اتخاذ کرده است. بدین ترتیب، ممکن است تولیدکنندگان تشویق شوند که میزان فرآوری زیتون به روغن را بیشتر از کنسرو آن کنند. همچنین، طبق آمار وزارت جهاد کشاورزی، پیش‌بینی می‌شود که در سال آتی، میزان تولید روغن زیتون نسبت به کنسرو زیتون افزایش چشمگیر داشته باشد. از سوی دیگر، با این تغییر در فرآوری، می‌توان هم سلامت مصرف‌کنندگان زیتون و هم میزان ارزش افزودهٔ این محصول را افزایش داد. البته، با اصلاح زنجیرهٔ تأمین فعلی به‌گونه‌ای که واردات زیتون خام آزاد شود و صادرات فرآورده‌های آن افزایش یابد و از محصولات برگشتی بیشتر از حالت فعلی استفاده شود، سود زنجیره به ۵۵۴۱۷۳۰۱ میلیون ریال خواهد رسید؛ همچنین، نسبت هزینهٔ دفع پسماندها به سود بازیافت پسماند حدود ۷۹ درصد نسبت به زنجیرهٔ فعلی کاهش می‌یابد که نشان‌دهندهٔ بهبود زنجیره از لحاظ حفاظت از محیط زیست در راستای سبز بودن زنجیره است، که این تغییر را می‌توان در افزایش مقادیر محصولات برگشتی و کاهش میزان دفع نیز مشاهده کرد.

به‌منظور بررسی تغییرپذیری تابع هدف اول مدل مورد نظر (یعنی، حداقل‌سازی هزینه‌های آلاینده‌های حاصل از فرآیند فرآوری محصول زیتون نسبت به تغییرات پارامترهای نرخ‌های برگشتی پسماندها)، از تحلیل حساسیت کمک گرفته شد. در جدول ۴، بررسی نرخ برگشت کمپوست، نرخ برگشت خوراک دام و نرخ برگشت مواد آرایشی و بهداشتی در یازده مورد از صفر تا یک به فاصلهٔ یک‌دهم از هم آمده، به‌گونه‌ای که برای ساده‌سازی، هر کدام از این پارامترها در مقابل دفع در نظر گرفته شده و بقیهٔ نرخ‌های برگشت صفر فرض شده است. برای نمونه، اگر نرخ برگشت کمپوست صفر باشد، صد درصد پسماندها دفع می‌شود.

همان‌گونه که نتایج تحلیل حساسیت در جدول ۴ نشان می‌دهد، هرچه نرخ‌های برگشتی افزایش می‌یابند، از هزینه دفع کاسته می‌شود و سود بازیافت پسماند افزایش می‌یابد و به هدف سبز شدن زنجیره بسیار کمک می‌کند. افزایش نرخ برگشت مواد آرایشی و بهداشتی نسبت به افزایش دو نرخ دیگر، تأثیر بیشتری در بهبود محیط زیست دارد، که دلیل آن را می‌توان استفادهٔ بیشتر از مواد دفعی در بخش صنایع آرایشی و بهداشتی دانست، زیرا چنان‌که گفته شد، حدود پنجاه درصد از پسماند حاصل از فرآوری زیتون پساب است که حاوی مواد قابل استفاده در این صنعت است؛ پس از آن، نرخ برگشت کمپوست درکاهش هزینه دفع و افزایش سودآوری بسیار مؤثر است. البته در زنجیره فعلی، نرخ برگشت خوراک دام از آن دو نرخ دیگر بیشتر است، زیرا مشتری آن در دسترس است و فرآوری خاصی نیاز ندارد، اما درصد کمی از پسماندها را می‌توان به‌صورت کنجاله به مراکز خوراک دام ارسال کرد، به‌گونه‌ای که افزایش آن کمتر از افزایش دو نرخ دیگر باعث کاهش نسبت هزینه دفع به سود می‌شود.

جدول ۴- نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای نرخ‌های برگشت بر تابع هدف اول (حداقل‌سازی هزینه‌های آلاینده‌ها)

پارامترها	نرخ برگشت	مقدار تابع هدف اول	پارامترها	نرخ برگشت	مقدار تابع هدف اول	پارامترها	نرخ برگشت	مقدار تابع هدف اول
نرخ‌های برگشت کمپوست RS^1	۰	۱۸۳۶×۱۰^{۵}	نرخ‌های برگشت خوراک دام RU^1	۰	۱۸۳۶×۱۰^{۵}	نرخ‌های برگشت مواد آرایشی و بهداشتی RW^1	۰	۱۸۳۶×۱۰^{۵}
	۰/۱	۴۸۹۵/۴		۰/۱	۳۷۸۷۰		۰/۱	۷۰۳/۳
	۰/۲	۲۱۷۶/۲		۰/۲	۱۶۸۳۵		۰/۲	۳۱۶/۶
	۰/۳	۱۲۶۹/۸		۰/۳	۹۸۲۳/۱		۰/۳	۲۴۲/۷
	۰/۴	۸۱۵/۵		۰/۴	۶۳۰۸/۷		۰/۴	۱۶۶/۲
	۰/۵	۵۴۳/۸		۰/۵	۴۲۰۷		۰/۵	۹۸/۸
	۰/۶	۳۶۲/۷		۰/۶	۲۸۰۵/۸		۰/۶	۷۷/۴
	۰/۷	۲۳۳/۳		۰/۷	۱۹۱		۰/۷	۸۲/۳
	۰/۸	۱۳۶/۳		۰/۸	۱۰۹۲/۵		۰/۸	۴۴/۱
	۰/۹	۶۰/۸		۰/۹	۴۷۰/۵		۰/۹	۴۴/۱
	۱	۰		۱	۰		۱	۰

منبع: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر، زنجیره‌ای از مراکز تأمین‌کننده، تولید، توزیع، دفع، محصولات برگشتی، صادرات و واردات طراحی و نشان داده شد که با اصلاح زنجیره تأمین فعلی، می‌توان بر منافع کل زنجیره افزود. همچنین، با تغییراتی در نحوهٔ فرآوری زیتون خام به نحوی که استحصال روغن بیش از کنسروسازی باشد، هم ارزش افزودهٔ این محصول بیشتر می‌شود و هم استفاده از پسماندهای فرآوری آن و اعمال روش‌های نوین مدیریت پسماند باعث حفظ سلامت عمومی و محیط زیست در مقابل اثرات نامطلوب پسماندهای کشاورزی خواهد شد. هدف دیگر بیشینه‌سازی سود کل زنجیرهٔ تأمین محصول زیتون و فرآورده‌های آن تحت شرایط ریسک تقاضا بود که با وارد کردن ریسک به مدل پیشنهادی، می‌توان نقاط ضعف زنجیره در مقابل شرایط پیش‌بینی‌نشدهٔ آینده را شناسایی و پیش از وقوع خسارت احتمالی، زنجیره را منعطف کرد. همچنین، نتایج به‌دست‌آمده به کمک محاسبات ارزش در معرض ریسک شرطی حاکی از سودآور بودن زنجیره برای تصمیم‌گیرندگان ریسک‌گریز در شرایط غیرقطعی است.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، پیشنهاد می‌شود که با تجهیز کارخانه‌های فرآوری زیتون و احداث کارخانه‌های فرآوری پسماندهای حاصل از روغن‌کشی، مدیریت پسماند در راستای حفظ محیط زیست صورت گیرد و در حوزه صنایع تبدیلی زیتون، بهره‌وری افزایش یابد. شایان یادآوری است که پساب واحدهای استحصال روغن زیتون یکی از منابع غنی از ترکیبات فنولی بوده و پاکسازی آن از این ترکیبات گریزناپذیر است؛ با این همه، چنانچه تصفیه پساب‌ها همراه با بازیابی و یا تولید مواد باارزش باشد، بخش مهمی از هزینه‌های تیمار پساب قابل جبران خواهد بود. از آنجا که امروزه، به لحاظ بالا بودن ارزش افزودهٔ ترکیبات فنولی، بازیابی آن از فاضلاب واحدهای استحصال روغن زیتون در کانون توجه بهره‌برداران قرارگرفته است، ارائهٔ راهکارهای بهره‌برداری از این ترکیبات نیز می‌تواند با ارزش افزوده همراه باشد. در زمینهٔ تولید و مصرف انواع فرآورده‌های زیتون، طبق نتایج به‌دست‌آمده، میزان تولید زیتون کنسروی در کشور بیش از روغن زیتون است؛ از این‌رو، شایسته است برنامه‌ریزی

و سیاست‌گذاری‌ها در سطح کلان به‌گونه‌ای باشد که مصرف روغن زیتون در جامعه بیش از پیش افزایش یابد، چراکه افزایش سرانه مصرف روغن زیتون در ارتقای اقتصاد سلامت خانواده نیز بسیار تأثیرگذار خواهد بود. بنابراین، باید به بحث فرهنگ‌سازی و آموزش در جامعه توجه ویژه شود. همچنین، در راستای حمایت از تولیدکنندگان داخلی، جلوگیری از واردات فرآورده‌های زیتون ضروری می‌نماید، زیرا همان‌گونه که نتایج نشان داده است، تقاضای فرآورده‌های این محصول در کشور از طریق تولید داخلی تأمین می‌شود.

در پایان، پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آتی، با افزودن ریسک‌های طبیعی از جمله آفات و خشکسالی در مدل‌های پژوهش، تأثیرات این‌گونه ریسک‌ها بر زنجیرهٔ تأمین مورد نظر بررسی شود. همچنین، می‌توان از دیگر الگوریتم‌های فراابتکاری در ترکیب با ارزش در معرض ریسک شرطی استفاده کرد و از این رهگذر، به بررسی و مقایسهٔ سرعت و نتایج حاصل از آن با پژوهش حاضر پرداخت.

منابع

1. Alfonso-Lizarazo, E.H., Montoya-Torres, J.R. and Gutiérrez-Franco, E. (2013). Modeling reverse logistics process in the agro-industrial sector: the case of palm oil supply chain. *Applied Mathematical Modelling*, 37(23): 9652-9664.
2. Ashouri, T. (2012). Economic study of distribution in olive marketing system: a case study of Tarom city. Master Thesis in Agricultural Economics Engineering, Payame Noor University of Tehran, Faculty of Basic Sciences and Agriculture. (Persian)
3. Azizi, J. (2000). Economic study of olive production and marketing in Guilan province. Master Thesis in Agricultural Economics Engineering, Shiraz University. (Persian)
4. Banasik, A., Kanellopoulos, A., Claassen, G., Bloemhof-Ruwaard, J.M. and van der Vorst, J.G. (2017). Closing loops in agricultural supply chains using multi-objective optimization: a case study of an industrial mushroom supply chain. *International Journal of Production Economics*, 183: 409-420.

5.Braido, G.M., Borenstein, D. and Casalinho, G.D.O. (2016). Supply chain network optimization using a tabu search based heuristic. *Gest. Prod., São Carlos*, 23(1): 3-17.
6.Falahati, A., Dastneshan, H. and Khosrowabadi, H. (2015). The role of green product supply chain in increasing food security. First International Conference on Entrepreneurship, Creativity and Innovation, Kharazmi Higher Institute of Science and Technology, Shiraz, Iran. (Persian)
7.Fatemi-Amin, S.R. and Mortezaei, A. (2013). Strategic plan of food supply chain. Tehran: University Jihad, Shahid Beheshti Branch. (Persian)
8.Garivani, A. and Pishvaei, M.S. (2016). Presenting a multi-period planning model for designing a honey export network taking into account the quality requirements of the product. *Journal of Tomorrow Management*, 15: 21-40. (Persian)
9.Gholami, M., Khosrowyar, S. and Hejri, Z. (2013). Investigation of the amount of methane produced from olive pomace along with bovine waste. Fourth National Bioenergy Conference of Iran, Tehran. (Persian)
10. Haji-Mirzajan, A., Pirayesh-Neghab, M. and Faal, F. (2013). Introducing dynamic supply chain model for agricultural products with quality consideration. Proceeding of the Nineth International Conference on Industrial Engineering, Khajeh Nasir al-Din Tusi University of Technology, Faculty of Industrial Engineering, pp. 1-8. (Persian)
11. Hatefi, S.M. and Jolai, F. (2014). Robust and reliable forward–reverse logistics network design under demand uncertainty and facility disruptions. *Applied Mathematical Modelling*, 38(9-10): 2630-2647.
12. Jebreilzadeh, S., Vahdani, B. and Mousavi, S.M. (2017). Robust model for designing a dynamic closed-loop supply chain with adjustable capacity. *Journal of Industrial Engineering*, 50(2): 205-230. (Persian)
13. Jerić, S.V. and Šorić, K. (2010). Single criterion supply chain management in olive oil industry. *Croatian Operational Research Review*, 1(1): 138-147.
14. Jindal, A. and Sangwan, K.S. (2014). Closed loop supply chain network design and optimisation using fuzzy mixed integer linear programming model. *International Journal of Production Research*, 52(14): 4156-4173.
15. Kadziński, M., Tervonen, T., Tomczyk, M.K. and Dekker, R. (2017). Evaluation of multi-objective optimization approaches for solving green supply chain design problems. *Omega*, 68: 168-184.
16. Kazemi, A. and Kangi, F. (2012). Presenting a model for optimizing the production and distribution program in the supply chain. Third National Conference on Industrial and Systems Engineering, Islamic Azad

University, South Tehran Branch, Faculty of Industrial Engineering. (Persian)
17. Khaledi, M. and Amjadi, A. (2009). The importance and application of supply chain management in agriculture and related industries. Sixth Conference on Agricultural Economics of Iran, Karaj, Iranian Association of Agricultural Economics, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. (Persian)
18. Khani, N. and Ghazavi, S. (2015). Challenges and benefits of reverse supply chain. First National Conference on Strategic Services Management, Islamic Azad University, Najafabad Branch. (Persian)
19. Kisiala, J. (2015). Conditional value-at-risk: theory and applications. Dissertation Presented for the Degree of MSc in Operational Research, the School of Mathematics, the University of Edinburgh.
20. Mehdipoor, E., Sadrol-Ashrafi, S.M. and Karbasi, A. (2005). A study of potato product marketing in Iran. *Scientific and Research Journal of Agricultural Sciences*, 11(3): 121-131. (Persian)
21. Mohammadi, M.S. and Yousefinejad Attari, M. (2017). Multi-layer modeling of supply chain of products with limited lifespan of Etka chain stores (case study: Olive oil). *Quarterly Journal of Industrial Management, Faculty of Humanities, Islamic Azad University, Sanandaj Branch*, 12(40). (Persian)
22. Mohammed, A. and Wang, Q. (2017). The fuzzy multi-objective distribution planner for a green meat supply chain. *International Journal of Production Economics*, 184, 47-58.
23. Mojarad, A., Salarpour, M. and Saboohi, M. (2013). Food supply chain management, case study: tomato paste production industry in North Khorasan province. *Agricultural Economics Research*, 5(4): 67-86. (Persian)
24. Paksoy, T., Pehlivan, N.Y. and Özceylan, E. (2012). Application of fuzzy optimization to a supply chain network design: a case study of an edible vegetable oils manufacturer. *Applied Mathematical Modelling*, 36(6): 2762-2776.
25. Pishvaei, M.S. and Torabi, S.A. (2010). A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 161(20): 2668-2683.
26. Shokri, A. and Jafari, M.B. (2015). Location-routing of reverse logistics networks with multiple capacity under uncertainty. Master Thesis, Industrial Engineering, University of Tehran, Farabi Campus. (Persian)

27. Soleimani, H. and Govindan, K. (2014). Reverse logistics network design and planning utilizing conditional value-at-risk. *European Journal of Operational Research*, 237(2): 487-497.
28. Soleimani, H. and Kannan, G. (2015). A hybrid particle swarm optimization and genetic algorithm for closed-loop supply chain network design in large-scale networks. *Applied Mathematical Modelling*, 39(14): 3990-4012.
29. Talaei, M., Farhang Moghaddam, B., Pishvaei, M.S. and Bozorgi Amiri, A. (2015). Presenting a two-objective positioning model for designing a green closed-loop supply chain network. *Journal of Transportation*, 12(1): 65-77. (Persian)
30. Tavakkoli-Moghaddam, R., Afsharinia, Z. and Gholipour-Kanani, Y. (2013). Use of a Benders decomposition method for solving a two-echelon multi-commodity supply chain network design problem with stochastic demands. *Industrial Engineering Research in Production Systems*, 1(2): 155-165. (Persian)
31. Tavakkoli-Moghaddam, R., Jafarmozdeh, B. and Mullah Alizadeh Zavardehi, S. (2015). Design of multi-objective purchasing-production-distribution network in the green supply chain with multi-objective gravitational search algorithm. *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, 26(2): 140-156. (Persian)
32. Tiwari, M.K., Raghavendra, N., Agrawal, S. and Goyal, S. (2010). A Hybrid Taguchi–Immune approach to optimize an integrated supply chain design problem with multiple shipping. *European Journal of Operational Research*, 203(1): 95-106.
33. Wang, H.W., Yan, Y.S. and Wei, L. (2013). A revenue sharing model for closed-loop supply chain of green agricultural products. Paper Presented at the Advanced Materials Research.
34. Yu, H., Solvang, W.D. and Chen, C. (2014). A green supply chain network design model for enhancing competitiveness and sustainability of companies in high north arctic regions. *International Journal of Energy and Environment*, 5(4): 403-418.
35. Yurt, Ö. (2015). A generic analysis of food supply chain: case of olive oil industry in Turkey. PhD Thesis, Marketing, Retail and Supply Chain Management, Business School.