

بهینه‌سازی چندهدفه در طراحی شبکه زنجیره تأمین خرما

عبدالرضا حمدی اصل^۱، حسین عموزاد خلیلی^{۲*}، رضا توکلی مقدم^۳، مصطفی حاجی آقائی کشتلی^۴

۱. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

۳. استاد گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴. استاد دانشکده مهندسی و علوم، دانشگاه صنعتی مونتري، مکزیک

خلاصه

در سالیان اخیر، زنجیره‌های تأمین مواد غذایی و کشاورزی توجه محققان زیادی را به خود جلب کرده‌اند. زیرا این محصولات غالباً ارزش زیادی برای سهامداران خود فراهم می‌کنند. از این رو رویکرد جدیدی برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته برای محصولات خرما در این مقاله توسعه یافته است. محصولات خرما و محصولات جانبی نیز در این شبکه برای استفاده در بازارهای هدف خود در نظر گرفته شده‌اند. در این راستا، یک مدل ریاضی جدید برای بهینه‌سازی کل هزینه‌ها شامل هزینه‌های ثابت، هزینه‌های پردازش، هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های حمل‌ونقل در هر دو جریان روبه جلو و معکوس فرموله شده است. نوآوری اصلی این مقاله در نظر گرفتن یک مدل شبکه زنجیره تأمین نوآورانه براساس ویژگی‌های منحصربه‌فرد محصول خرما بوده است. در این شبکه حلقه بسته، پایداری محصول خرما در شبکه زنجیره تأمین برای اولین بار مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در این مدل برای اولین بار جمع‌آوری پسماند محصولات به مراکز بازیافت معرفی گردیده و برای حل مدل پیشنهادی مسئله، مجموعه‌ای از الگوریتم‌های فراابتکاری و ترکیبی به همراه استفاده از سالور سیپلکس استفاده شده است. در ادامه نیز برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی و عملکرد این الگوریتم‌ها، چندین اندازه مسئله تولید و برآزش انجام گردید. برای دست‌یابی به نتایج بهینه، پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی براساس روش تاگوچی تنظیم شده و در پایان تحلیل حساسیت انجام شده که نتایج آن، کاهش معنی‌داری در هزینه‌های کلی صنعت خرما با در نظر گرفتن محصولات جانبی و جمع‌آوری زباله در جریان معکوس را نشان می‌دهند.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۴۰۰/۸/۵

پذیرش ۱۴۰۰/۱۲/۷

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

طراحی شبکه

زنجیره تأمین کشاورزی

لجستیک معکوس

الگوریتم فراابتکاری

۱. مقدمه

کیفیت محصولات و خدمات شرکت‌ها از مهم‌ترین عواملی است که رضایت مشتریان را به همراه دارد. در سال‌های اخیر، ابزارها و روش‌های مختلفی برای جلب توجه شرکت‌ها، دولت‌ها و مشتریان به منظور تلاش برای یافتن راه‌حل اصلی برای نزدیک شدن به مزیت‌های رقابتی در کسب‌وکارشان مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۵۱]. با جستجوی تعریفی در ادبیات، می‌توان دریافت که زنجیره تأمین را می‌توان به‌عنوان

فعالیت‌هایی تعریف کرد که به تأمین هزینه مواد، تولید کالا، انتقال تولید در بین زنجیره و توزیع محصولات نهایی به مقصد کمک می‌کند [۱].

امروزه صنایع غذایی در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه جایگاه قابل توجهی دارد. زیرا تولیدات غذایی در معرض تقاضای فزاینده بشر بوده و نیاز به برآورد آن احساس می‌شود [۲]. این امر نگرانی فزاینده‌ای را از سوی مصرف‌کنندگان، صنایع کشاورزی و

* نویسنده مسئول: حسین عموزاد خلیلی

تلفن: ۰۲۱-۸۸۶۹۱۵۲۰، پست الکترونیکی: amoozad92@yahoo.com

پیشنهاد داده شده است.

۲. مرور ادبیات

در این بخش بررسی جامعی در مورد کاربرد شبکه زنجیره تأمین بر روی محصولات کشاورزی انجام گرفته است. برای درک بهتر این موضوع، مطالعات قبلی به شرح زیر دسته‌بندی می‌شوند:

بسیاری از مطالعات اخیر با استفاده از ابزارهای تحقیق در عملیاتی، در سطوح مختلف طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین کشاورزی بر جنبه‌های کاربردی آن متمرکز شده‌اند. به طور کلی در این مطالعات، طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین کشاورزی در دو دسته مجزا فاسدشدنی و غیرفاسدشدنی در نظر گرفته می‌شوند. کالاهای فاسدشدنی به دو بخش کالاهای مادام‌العمر (مانند غذا و الکل) طبقه‌بندی می‌شوند [۹]. در میان اولین محققین در این زمینه، استاکر و همکاران [۱۰]، از تحقیق در عملیات برای طراحی یک شبکه مواد غذایی در جهت به حداکثر رساندن سود و بهبود عملکرد برنامه‌ریزی در مزارع استفاده کردند.

در مطالعه دیگری، دو مدل برنامه‌ریزی خطی مختلف (یعنی ساده و فازی) توسط میلر و همکاران [۱۱]، برای رسیدن به زمان‌بندی بهینه برای تولید گوجه‌فرنگی در فرآیند بسته‌بندی استفاده شده است. برای به حداکثر رساندن درآمد، اکمن [۱۲]، بهترین ترکیب تجهیزات و محصول را پیدا کرد. سایز-تافیو [۱۳]، با در نظر گرفتن ۳۲۰ مزرعه برزیلی برای بهبود کیفیت میوه، یک مدل ریاضی با محدودیت‌های شیمیایی، بیولوژیکی و لجستیکی ارائه کرد. آپای و هندریکس [۱۴]، با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط یک شبکه زنجیره تأمین را طراحی کردند که چهار سطح از تولید محصولات نخود (تولید، برداشت، حمل‌ونقل و آماده‌سازی) را در نظر می‌گرفت. از همان مدل فرر و همکاران [۱۵]، برای تصمیم‌گیری در مورد فرآیند تولید انگور برای به حداقل رساندن هزینه‌ها و به حداکثر رساندن کیفیت انگور استفاده کرد. یک مسأله برداشت انگور توسط آرنات و ماتوک [۱۶]، برای افزایش کیفیت انگور و کنترل هزینه‌های عملیات فرموله شده است.

علاوه بر این، الگوریتم‌های فراابتکاری برای اختصاص دوره‌های برداشت استفاده شده و چندین مثال برای اعتبارسنجی مدل پیشنهاد داده شده است. آهومادا و ویلاوبوس [۱۷]، یک مدل عملیاتی با هدف حداکثرسازی درآمد منوط به محدودیت‌های تولید و توزیع طراحی کرده است. تان و کمدن [۱۸]، برای کنترل عرضه سالانه میوه و سبزیجات از مزارع یک رویکرد برنامه‌ریزی را معرفی کردند. همچنین آن‌ها به خواسته‌های تصادفی خرده‌فروشان رسیدگی کردند.

تیموری و همکاران [۱۹]، یک مدل شبیه‌سازی برای میوه‌ها و سبزیجات فاسدشدنی ارائه کردند و رفتار و رابطه آن‌ها را بر روی شبکه زنجیره تأمین و تعاملات عرضه، تقاضا و قیمت مورد مطالعه قرار دادند. یک مدل ریاضی برای زنجیره تأمین مواد غذایی فاسدشدنی برای انجام

صنایع غذایی و دولت‌ها برای انجام و بررسی مطالعات حساس در زمینه زنجیره تأمین کشاورزی وامی‌دارد [۳]. بنابراین، اکثر صنایع نوظهور قدیمی و جدید در بخش کشاورزی منابع خود را برای دستیابی به بیشترین سهم بازار از این تجارت سودآور اختصاص داده‌اند. همچنین، بسیاری از محققین در سال‌های اخیر سعی کرده‌اند در مطالعات خود در مورد مواد غذایی کشاورزی مانند مرکبات [۴]، برنج [۵] و گندم [۶] به این مسأله بپردازند.

صنعت خرما یک تجارت ارزشمند است که در این زمینه نادیده گرفته شده است. برای برآوردن این تقاضا، بسیاری از صنایع منابع خود را برای افزایش تولید خرما اختصاص دادند. علاوه بر این طبق آمار در سال‌های اخیر روند افزایشی در تولید خرما وجود دارد [۷]. طبق گزارش [۸]، تولید خرما به دومین تولید جهانی در میان میوه‌های خشک وابسته است. از این رو، تعداد زیادی از محصول خرما مستقیماً به مراکز غذایی و بازارهای عمومی برای مصرف روزانه مشتریان در یک جریان روبه جلو منتقل می‌شود. با این حال، تمام جریان‌های مستقیم محصول که قبلاً ذکر شد، با برخی از معایب دست‌وپنجه نرم می‌کنند، زیرا، درختان خرما تعداد زیادی ضایعات کشاورزی از جمله برگ‌ها، ساقه‌ها، چاله‌ها و دانه‌های خشک تولید می‌کنند که عمدتاً از آن‌ها چشم‌پوشی می‌شود.

همچنین طبق گزارشات فائو، کشور ایران رتبه اول بیشترین مساحت تحت کشت میوه خرما را در دنیا داراست^۱. از این رو، ویژگی خاص شبکه لجستیک معکوس نه تنها می‌تواند محصولات نادیده گرفته شده درخت نخل مانند برگ، دانه، ساقه و ضایعات نخل را به طور مؤثر سازماندهی و برنامه‌ریزی کند، بلکه می‌تواند آن‌ها را به مراکز ویژه برای مصارف بیشتر مانند دام منتقل کند.

این مطالعه یک مدل ریاضی بهینه‌سازی را ارائه می‌کند که بر طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس برای میوه خرما متمرکز است.

هدف ما به حداقل رساندن کل هزینه‌ها برای مدل پیشنهادی از جمله هزینه‌های ثابت، هزینه حمل‌ونقل در زنجیره و هزینه نگهداری و ذخیره‌سازی موجودی می‌باشد. در نظر گرفتن چنین شبکه‌ای هم هزینه‌های کل را به حداقل می‌رساند و هم سودآوری این صنعت را با در نظر گرفتن پردازش و استفاده مجدد از ضایعات محصول افزایش می‌دهد و از این رو به نفع محیط زیست نیز خواهد بود. همچنین تابع هدف دوم مسأله به دنبال کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای از طریق کمینه کردن جریان و انتقالات بین سطوح مختلف می‌باشد.

هدف و انگیزه مطالعه حاضر طراحی یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته و پایدار با توجه به خصوصیات و ویژگی‌های درخت خرما می‌باشد. در همین راستا ابتدا ویژگی‌های درخت خرما شامل میوه و اجزای مختلف آن نظیر ضایعات متداول در نظر گرفته شده‌اند. همچنین بازارهای هدف این محصولات شناسایی شده و در گام بعدی یک شبکه زنجیره تأمین منحصربه‌فرد برای محصول خرما

[۴۷] و کاراس و همکاران [۴۸] مورد بررسی قرار گرفته است. نویسندگان با تکیه بر مواردی نظیر شهر هوشمند؛ زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند و اینترنت اشیا سعی در برقراری ارتباط میان سطوح مختلف زنجیره پیشنهادی داشته‌اند. از دیگر مقالات اخیر در این حوزه می‌توان به مطالعات یاداو و همکاران [۴۹] در بررسی کارکرد و چالش‌های روبه‌رو در زنجیره‌های تأمین کشاورزی نام برد. سایر مطالعات در این زمینه به شرح جدول (۱) می‌باشد.

همان‌طور که قبلاً اشاره شده است توجه به محصولات کشاورزی در طراحی شبکه زنجیره تأمین این محصولات کم اما در حال رشد می‌باشد. شبکه‌های نوآورانه شامل مطالعاتی از قبیل کنترل فاضلاب [۳۶]، توجه به امر پایداری برای محصول میوه [۲۴]، توسعه یک بررسی سیستماتیک برای ضایعات محصولات کشاورزی [۳۷]، در نظر گرفتن جهت معکوس برای مرکبات [۴] و [۳۱]، استخراج کودها در جریان برگشتی [۳۸]، بازیافت محصول [۳۹] و فسادپذیری محصول [۴۰] است. از این‌رو، هر محصول منحصر به فردی دارای ویژگی‌های خاص خود است که در نهایت بازارهای هدف و مشتریان بالقوه آن را تغییر دهد. در این مطالعه با تأکید بر ویژگی‌های خاص میوه خرما، یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته برای این محصول ارزشمند طراحی شده است.

باتوجه به مطالعات پیشین، مقالاتی مشابه در حوزه زنجیره تأمین کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تفاوت اصلی این مقاله با موارد پیشین را در چندین مورد به شرح زیر می‌توان تشریح نمود:

- ساختار شبکه: باتوجه به خصوصیات منحصر به فرد میوه خرما، جریان‌های مختلفی جهت انتقال از باغات خرما تا دریافت توسط مشتری نهایی مورد انتظار است. محصول خرما دارای زنجیره تأمین ارزش متفاوتی نسبت به سایر محصولات کشاورزی و باغی بوده و بنابراین فرآیندهای متفاوتی از تولید تا عرضه و دریافت توسط مشتریان مورد نیاز می‌باشد. به همین ترتیب مشتریان نهایی متفاوتی نسبت به سایر محصولات کشاورزی در زنجیره عرضه محصول خرما مشاهده شده است.
- روش حل: باتوجه به مدل ریاضیاتی پیشنهادی، به روش‌های حل مختلفی و متناسب با مدل پیشنهادی نیاز است. بنابراین، روش‌های حل مختلفی در مقایسه با کارهای پیشین در این مقاله به انجام رسیده است.
- براساس خلأهای پژوهشی به دست آمده توسط جدول (۱)، می‌توان نوآوری‌های اصلی این اثر را به شرح زیر برشمرد.
- در نظر گرفتن محصول جانبی به همراه محصولات اصلی در زنجیره پیشنهادی برای استفاده مجدد از محصولات هدررفته.
- طراحی یک حلقه بسته با در نظر گرفتن ویژگی‌های خرما.
- تخصیص هر محصول جانبی به بازار هدف براساس ویژگی‌های خاص آن‌ها.
- مدل‌سازی و بهینه‌سازی شبکه طراحی شده با در نظر گرفتن ضایعات محصول با افتتاح مراکز بازیافت.

برنامه‌ریزی توسط آگوستینا و همکاران [۲۰]، ارائه شد. گونزلس-اریا و همکاران [۲۱]، یک رویکرد برنامه‌ریزی برای اهداف مشابه برای شبکه زنجیره تأمین میوه در کشور شیلی پیشنهاد کردند.

تحقیقات زیادی پیرامون بررسی کاربرد شبکه‌های زنجیره تأمین حلقه بسته و برگشت پذیر انجام شده است. با این حال، استفاده از شبکه‌های زنجیره تأمین حلقه بسته به انتشارات سال‌های اخیر محدود شده است. لیاو [۴]، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته برای جعبه‌های مرکبات طراحی کرد تا هزینه‌های کل را به حداقل برساند. علاوه بر این جنبه به حداقل رساندن آلودگی هوا نیز در ادبیات منعکس شده است. سپس نویسندگان از مجموعه‌ای از الگوریتم‌های فراابتکاری جدید و الگوریتم‌های ترکیبی برای حل مدل استفاده کردند. چراغعلی پور [۲۲]، با در نظر گرفتن دو تابع هدف، یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته برای محصول مرکبات طراحی کرد. این مقاله هزینه‌های کل را به حداقل رسانده و پاسخ‌گویی به تقاضای مشتری بالقوه را به حداکثر می‌رساند. این مقاله با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه، نتایج امیدوارکننده‌ای را در این زمینه به دست آورد. به تازگی صالحی امیری و همکاران [۲۳]، یک مدل ریاضی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته برای صنعت گردو پیشنهاد کرد. با در نظر گرفتن بازارهای بالقوه مختلف برای این محصول، نویسندگان جریان روبه جلو و معکوس را ترکیب کردند. نتایج این مطالعه به طور مؤثر کل هزینه‌های صنعت گردو را کاهش داد. جبارزاده و همکاران [۲۴]، یک شبکه چندهدفه برای طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته برای میوه‌جات را پیشنهاد داده‌اند.

باتوجه به فسادپذیری محصول، این مدل هزینه‌های کل و انتشار کربن را به حداقل می‌رساند و پاسخ‌گویی به مشتریان را به حداکثر می‌رساند. با استفاده از رویکرد ال‌پی-متریک مسأله نشان داد که این قابلیت برای سایر محصولات مانند سبزیجات نیز کاربرد دارد. سایر نویسندگان مانند ژاو و همکاران [۲۵]، از رویکرد سیستم دینامیک برای نشان دادن تأثیر محصولات کشاورزی بر ضایعات کشاورزی و همچنین انتشار کربن در هنگام استفاده از شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته استفاده کردند. نتیجه مطالعه نشان‌دهنده برنامه بهینه برای هدایت عملیات زنجیره تأمین حلقه بسته بوده است. انگرانی و همکاران [۴۵] به مسأله یکپارچگی در شبکه زنجیره تأمین کشاورزی اشاره داشته‌اند. در این پژوهش مبحث اصلی بررسی شاخص‌های کیفی زنجیره تأمین کشاورزی بوده است. یک مدل زنجیره تأمین کشاورزی و پایدار با هدف کمینه کردن هزینه و اثرات اجتماعی توسط باغی‌زاده و همکاران [۴۶] پیشنهاد شده است.

در این مطالعه برای اولین بار از پنل‌های خورشیدی در جهت تولید و بازگشت انرژی به سطوح مختلف زنجیره استفاده شده است. همچنین اثرات زیست‌محیطی این کار کاهش چشم‌گیری داشته است. استفاده از زنجیره تأمین هوشمند و اینترنت در سطوح مختلف زنجیره ارزش محصولات کشاورزی به تازگی در مطالعات لاتینو و همکاران

• بهینه‌سازی مدل توسط هر دو الگوریتم فراابتکاری و راه‌حل دقیق.

جدول (۱): مقایسه‌ی مطالعات انجام شده با مقاله حاضر

مقالات	سال	هزینه	قابلیت اطمینان	موجودی	مکان‌یابی	تخصیص	کنترل ظرفیت	دوره زمانی	زمینه	روش حل
میلر و همکاران [۱۱]	۱۹۹۷	✓	✓	✓		✓	✓	چنددوره	گوجه فرنگی	برنامه‌ریزی فازی
ساکسیا-فولیا [۱۳]	۲۰۰۶	✓				✓	✓	چنددوره	پرتغال	روش دقیق
آپیا و هندریکس [۱۴]	۲۰۰۶	✓			✓	✓	✓	یک دوره	نخود	روش دقیق
فرر و همکاران [۱۵]	۲۰۰۸	✓			✓	✓	✓	چنددوره	انگور	روش دقیق
آرنوت و ماتوک [۱۶]	۲۰۱۰	✓		✓		✓	✓	چنددوره	میوه و سبزیجات	روش دقیق
آهومتندا و والیبوس [۱۷]	۲۰۱۱	✓		✓		✓	✓	چنددوره	محصولات کشاورزی	روش دقیق
تان و کومدن [۱۸]	۲۰۱۲	✓		✓		✓	✓	چنددوره	میوه و سبزیجات	روش دقیق
پاکوی [۲۶]	۲۰۱۲	✓		✓		✓	✓	یک دوره	روغن سبزیجات	روش دقیق
تیموری و همکاران [۱۹]	۲۰۱۳	✓		✓		✓	✓	چنددوره	میوه و سبزیجات	روش دقیق
آگوستین [۲۰]	۲۰۱۴	✓		✓		✓	✓	یک دوره	غذا	روش دقیق
گونزالز و همکاران [۲۱]	۲۰۱۵	✓		✓		✓	✓	چنددوره	سیب	روش دقیق
روکو و ماریوتو [۲۷]	۲۰۱۶	✓		✓	✓	✓	✓	یک دوره	گوجه‌فرنگی	روش دقیق
سوتو-سیلور [۲۸]	۲۰۱۷	✓		✓		✓	✓	یک دوره	سیب	روش دقیق
قضواتی و همکاران [۲۹]	۲۰۱۷			✓		✓	✓	چنددوره	گوجه‌فرنگی	روش دقیق
چراغعلیپور و همکاران [۲۲]	۲۰۱۸	✓		✓	✓	✓	✓	چنددوره	صیفی‌جات	روش فراابتکاری
ما و همکاران [۳۰]	۲۰۱۹	✓		✓		✓	✓	یک دوره	محصولات کشاورزی	-
چراغعلیپور و همکاران [۵]	۲۰۱۹	✓		✓	✓	✓	✓	چنددوره	برنج	روش فراابتکاری
روغنیان و چراغعلیپور [۳۱]	۲۰۱۹	✓		✓	✓	✓	✓	چنددوره	صیفی‌جات	روش فراابتکاری
جیفرودی و همکاران [۳۲]	۲۰۲۰	✓		✓	✓	✓	✓	چنددوره	برنج	روش دقیق
یان و همکاران [۳۳]	۲۰۲۰	✓		✓	✓	✓	✓	چنددوره	محصولات کشاورزی	روش دقیق
چاوز و همکاران [۳۴]	۲۰۲۰	✓		✓	✓	✓	✓	چنددوره	نیشکر	روش فراابتکاری
صالحی امیری و همکاران [۲۳]	۲۰۲۱	✓		✓	✓	✓	✓	چنددوره	گردو	روش فراابتکاری
صالحی امیری و همکاران [۳۵]	۲۰۲۲	✓		✓	✓	✓	✓	چنددوره	آووکادو	روش فراابتکاری
مطالعه حاضر	۲۰۲۲	✓	✓	✓	✓	✓	✓	چنددوره	خرما	روش دقیق
										روش هایبرید

۳. تعریف مسأله

استفاده از محصولات برگشت‌پذیر در حوزه کشاورزی، به‌ویژه برای میوه خرما یک نیاز اساسی است و همچنین یکی از روبه‌رشدترین گرایش‌ها در طراحی شبکه‌های حلقه بسته محسوب می‌شود. این محصولات معمولاً هدر می‌روند یا نادیده گرفته می‌شوند زیرا این محصولات را می‌توان به مراکزی مانند مرکز بازیافت یا سایر بازارها بازگرداند تا بیشترین مزیت را از آن‌ها به‌دست آورد. این مواد معمولاً به‌عنوان مواد اولیه در سایر محصولات عمل می‌کنند و می‌توانند در صنایع مختلف برای تولید محصولات از جمله کمپوست، کود و غیره استفاده شوند.

هدف این مقاله طراحی یک شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته بهینه برای محصولات بااستفاده از ضایعات بازگشت‌پذیر در یک جریان روبه‌عقب است. همچنین تخصیص هر محصول جانبی به بازار هدف براساس ویژگی‌های خاص آن‌ها در کنار مدل‌سازی و بهینه‌سازی شبکه طراحی شده با در نظر گرفتن ضایعات محصول با افتتاح مراکز بازیافت و نیز حل باروش دقیق و دو الگوریتم فراابتکاری از اهداف این

مقاله می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، این مدل شامل مزارع (خرما)، مراکز مرتب‌سازی و درجه‌بندی (SGC)، کارخانه خرما (PF)، مرکز پردازش پدیسل خرما (DPPC)، کارخانه عسل خرما (DHF)، مرکز بسته‌بندی و توزیع (PDC)، کارخانه بذر (SF)، صنعت داروسازی (PhI)، صنایع دستی (H)، صنایع غذایی (FI)، خوراک دام (AF)، بازار عمومی (GM)، صنعت آرایشی و بهداشتی (CI)، و مراکز جمع‌آوری و بازیافت (CRC) در جریان معکوس می‌باشد.

به‌طور خلاصه خرما در مزارع تولید می‌شود و مستقیماً به هریک از سه مرکز شامل مراکز مرتب‌سازی و درجه‌بندی، کارخانه خرما و مرکز پردازش پدیسل خرما منتقل می‌شود. سپس این محصولات به کارخانه عسل خرما یا مرکز بسته‌بندی و توزیع فروخته می‌شوند. ابتدا عسل خرما را تولید می‌کنند و دانه‌های بی‌فایده را به کارخانه بذر می‌فرستند. از طرف دیگر مرکز بسته‌بندی و توزیع میوه‌های تازه را برای ارسال به بازار مواد غذایی آماده می‌کند.

دانه خرما یک محصول باارزش است که در صنعت داروسازی،

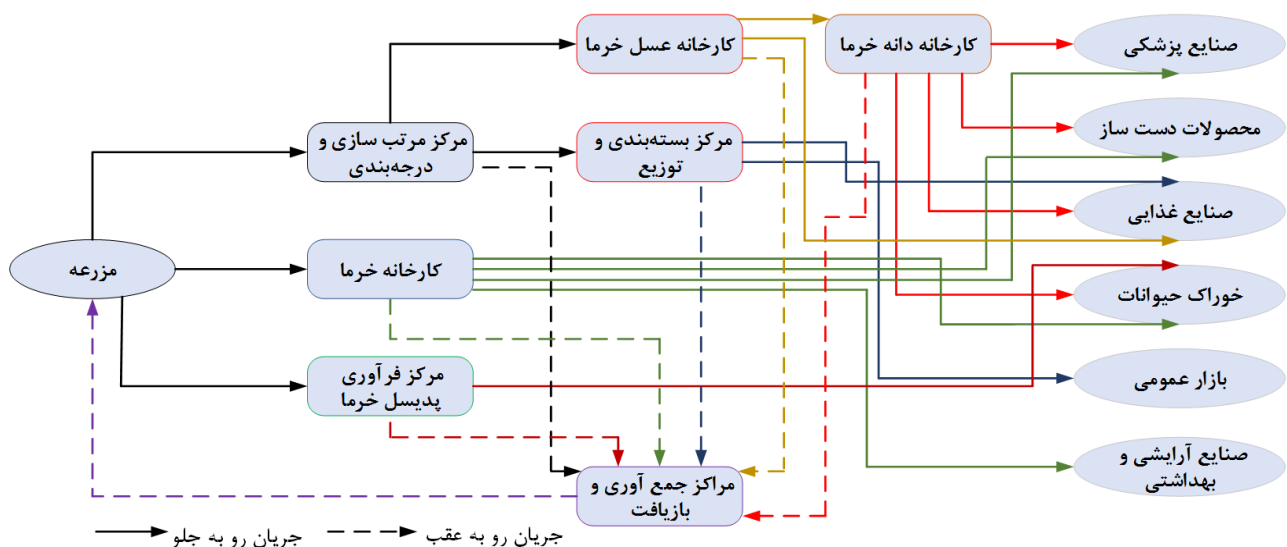
جمع‌آوری و بازیافت رفته تا در یک شبکه حلقه بسته و پایدار مجدداً مورد استفاده قرار گیرد.

مفروضات شبکه پیشنهادی به شرح زیر می‌باشد:

- تمامی مراکز در نظر گرفته شده ظرفیت محدودی دارند. علاوه بر این، مکان آن‌ها از قبل تعیین شده است.
- نرخ تقاضا برای هر مشتری در هر دوره مشخص است.
- هیچ کمبودی درمسأله پیشنهادی مجاز نمی‌باشد.
- در تمامی مراکز مرتب‌سازی و درجه‌بندی، مرکز بسته‌بندی و توزیع، جمع‌آوری و باز یافت، کارخانه خرما، مرکز پردازش پدیسل خرما، کارخانه عسل خرما و کارخانه بذر، سیستم انبار در نظر گرفته شده است. بنابراین ظرفیت و همچنین سطح موجودی در هر مرکز مشخص و محدود است.

صنایع دستی، صنایع غذایی و خوراک دام استفاده می‌شود. بنابراین چهار جریان بین کارخانه بذر و این بازارها وجود دارد. علاوه بر این کارخانه بذر، کارخانه خرما و مرکز پردازش پدیسل خرما از دیگر مراکزی هستند که محصولات ارزشمندی را برای بازارهای بالقوه خود حمل می‌کنند. کارخانه خرما مواد را پردازش کرده و به صنعت داروسازی، صنایع دستی، خوراک دام، و صنعت آرایشی و بهداشتی به‌عنوان بازارهای هدف محصول نخل خرما منتقل می‌کند. آخرین و پراهمیت‌ترین مرکز، مرکز پردازش پدیسل خرما است که پدیسل‌ها را پردازش می‌کند تا آن‌ها را به بازار خوراک دام ارسال کند.

به‌همین ترتیب محصول خرما و سایر محصولات جانبی آن در جهت رفت مورد پردازش قرار گرفته و به‌دست مصرف‌کنندگان نهایی آن می‌رسد. همچنین در مسیر بازگشت ضایعات خرما به مرکز



شکل (۱): شبکه پیشنهادی خرما

$$Cost^t = (Z_{opening}^t + Z_{ordering}^t + Z_{operation}^t + Z_{holding}^t + Z_{transportation}^t) \quad (2)$$

باتوجه به تعریف فوق، هزینه بازگشایی، هزینه سفارش، هزینه بهره‌برداری، هزینه نگهداری موجودی و هزینه حمل‌ونقل در معادلات (۳)-(۷) نشان داده شده است.

$$\begin{aligned} Z_{opening}^t &= \sum_g (Y_g^t - Y_g^{t-1}) \times SC_g^t \\ &+ \sum_d (Y_d^t - Y_d^{t-1}) \times SC_d^t \\ &+ \sum_{pa} (Y_{pa}^t - Y_{pa}^{t-1}) \times SC_{pz}^t \\ &+ \sum_s (Y_s^t - Y_s^{t-1}) \times SC_s^t \\ &+ \sum_{dp} (Y_{dp}^t - Y_{dp}^{t-1}) \times SC_{dp}^t \\ &+ \sum_c (Y_c^t - Y_c^{t-1}) \times SC_c^t \\ &+ \sum_h (Y_h^t - Y_h^{t-1}) \times SC_h^t \end{aligned} \quad (3)$$

۴. مدل‌سازی مسأله

تنظیمات مدل پیشنهادی به‌صورت جدول (۲) می‌باشند: باتوجه به جدول (۲)، یک شبکه لجستیکی چندسطحی، چندمحصولی، چنددوره‌ای، حلقه بسته با استفاده از معادلات زیر برای صنعت خرما ارائه شده است.

۵. تابع هدف مسأله

اولین تابع هدف (۱) ارزش خالص فعلی هزینه کل را در هر دوره به حداقل می‌رساند:

$$\text{Min } OBJ1 = \sum_t \frac{Cost^t}{(1 + ir)^t} \quad (1)$$

هزینه کل زنجیره تأمین پیشنهادی (۲) از مجموع هزینه بازگشایی، هزینه سفارش محصولات از مزارع، هزینه بهره‌برداری در هر مرکز، هزینه نگهداری موجودی در هر تأسیسات باز شده و هزینه حمل‌ونقل محصولات در میان دو مرکز حاصل می‌شود.

جدول (۲): پارامترهای مدل پیشنهادی

اندیس‌ها	:	تعریف
$f = \{1,2, \dots, F\}$:	مجموعه زمین‌های زراعی
$g = \{1,2, \dots, G\}$:	مجموعه مراکز مرتب‌سازی
$d = \{1,2, \dots, D\}$:	مجموعه مراکز توزیع
$dp = \{1,2, \dots, DP\}$:	مجموعه مراکز پایه خرمایی
$s = \{1,2, \dots, S\}$:	مجموعه مراکز هسته خرما
$h = \{1,2, \dots, H\}$:	مجموعه مراکز تولید عسل خرما
$pa = \{1,2, \dots, PA\}$:	مجموعه مراکز برگ خرما
$c = \{1,2, \dots, C\}$:	مجموعه مراکز بازیافت خرما
$fc = \{1,2, \dots, FC\}$:	مجموعه صنعت غذایی
$pc = \{1,2, \dots, PC\}$:	مجموعه صنعت پزشکی
$cc = \{1,2, \dots, CC\}$:	مجموعه صنایع زیبایی
$hc = \{1,2, \dots, HC\}$:	مجموعه صنایع دست‌ساز
$ac = \{1,2, \dots, AC\}$:	مجموعه صنایع خوراک دامی
$gc = \{1,2, \dots, GC\}$:	مجموعه مراکز جنرال
$p = \{1,2, \dots, P\}$:	مجموعه محصولات
$p' = \{1,2, \dots, P'\}$:	زیرمجموعه‌ای از محصولات که برای نرخ تولید در هر مرکز استفاده می‌شود
$t = \{1,2, \dots, T\}$:	مجموعه زمان‌ها
پارامترها	:	تعریف
$DM_{i,p}^t$:	تقاضای مشتری i از محصول p در دوره t ($i = fc, pc, cc, hc, ac, gc$)
TDM	:	مقدار کل تقاضا
$BC_{f,p}^t$:	هزینه خرید هرواحد محصول p از مزرعه f در دوره t
$OC_{i,p}^t$:	هزینه عملیاتی هرواحد محصول p در مرکز i در دوره t
SC_i^t	:	هزینه بازگشایی مراکز i در دوره t
$TC_{i,j,p}^t$:	هزینه جابه‌جایی محصول p از مرکز i به مرکز j در دوره t ($i = f, g, d, dp, s, h, pa, c$) and ($j = fc, pc, cc, hc, ac, gc$)
$HC_{i,p}^t$:	هزینه نگهداری هرواحد محصول p در مرکز i در دوره t
$FV_{f,p}^t$:	مقدار محصول p کشت‌شده در مزرعه f در دوره t
$CV_{i,p}^t$:	ظرفیت عملیاتی محصول p در مرکز i در دوره t
HV_i^t	:	هزینه نگهداری محصولات در مرکز i
$CG_{i,j}^t$:	هزینه انتشار گازهای گلخانه‌ای در انتقال بین مراکز i و j
$\alpha g_{p,p'}$:	نرخ تبدیل محصولات در مرکز مرتب‌سازی
$\alpha d_{p,p'}$:	نرخ تبدیل محصولات در مرکز توزیع
$\alpha dp_{p,p'}$:	نرخ تبدیل محصولات در مرکز پایه خرمایی
$\alpha s_{p,p'}$:	نرخ تبدیل محصولات در مرکز هسته خرما
$\alpha pa_{p,p'}$:	نرخ تبدیل محصولات در مرکز برگ خرما
$\alpha c_{p,p'}$:	نرخ تبدیل محصولات در مرکز بازیافت
$\alpha h_{p,p'}$:	نرخ تبدیل محصولات در مرکز عسل خرما
ir	:	نرخ بهره
متغیرها	:	تعریف
$XT_{i,j,p}^t$:	حجم محصول حمل شده p از مرکز i به مرکز j در دوره t
$XH_{i,p}^t$:	حجم محصول ذخیره شده p در مرکز i در دوره t
$XM_{i,p}^t$:	حجم محصول تولید شده p در مرکز i در دوره t
Y_i^t	:	اگر مرکز i بازگشایی شود ۱، در غیر این صورت ۰

$$\begin{aligned}
 &+ \sum_s \sum_{ac} \sum_p XT_{s,ac,p}^t \times TC_{s,ac,p}^t \\
 &+ \sum_s \sum_c \sum_p XT_{s,c,p}^t \times TC_{s,c,p}^t \\
 &+ \sum_d \sum_{fc} \sum_p XT_{d,fc,p}^t \times TC_{d,fc,p}^t \\
 &+ \sum_d \sum_{gc} \sum_p XT_{d,gc,p}^t \times TC_{d,gc,p}^t \\
 &+ \sum_d \sum_c \sum_p XT_{d,c,p}^t \times TC_{d,c,p}^t \\
 &+ \sum_f \sum_{pa} \sum_p XT_{f,pa,p}^t \times TC_{f,pa,p}^t \\
 &+ \sum_{pa} \sum_{pc} \sum_p XT_{pa,pc,p}^t \times TC_{pa,pc,p}^t \\
 &+ \sum_{pa} \sum_{hc} \sum_p XT_{pa,hc,p}^t \times TC_{pa,hc,p}^t \\
 &+ \sum_{pa} \sum_{ac} \sum_p XT_{pa,ac,p}^t \times TC_{pa,ac,p}^t \\
 &+ \sum_{pa} \sum_{cc} \sum_p XT_{pa,cc,p}^t \times TC_{pa,cc,p}^t \\
 &+ \sum_{pa} \sum_c \sum_p XT_{pa,c,p}^t \times TC_{pa,c,p}^t \\
 &+ \sum_f \sum_{dp} \sum_p XT_{f,dp,p}^t \times TC_{f,dp,p}^t \\
 &+ \sum_{dp} \sum_{ac} \sum_p XT_{dp,ac,p}^t \times TC_{dp,ac,p}^t \\
 &+ \sum_{dp} \sum_c \sum_p XT_{dp,c,p}^t \times TC_{dp,c,p}^t \\
 &+ \sum_c \sum_f \sum_p XT_{c,f,p}^t \times TC_{c,f,p}^t
 \end{aligned}$$

تابع هدف دوم مسأله به دنبال کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای از طریق کمینه کردن جریان و انتقالات بین سطوح مختلف می‌باشد.

$$\text{Min } OBJ2 = \sum_t XT_{i,j,p}^t \times CG_{i,j}^t \quad (۸)$$

۶. محدودیت‌های مسأله

محدودیت‌های مدل پیشنهادی در دودسته‌ی زیر قابل بررسی هستند. همچنین، فضای حل مدل پیشنهادی شامل محدودیت‌های تعادل، ظرفیت، متغیرهای تولید و محدودیت‌های آزاد در علامت هستند.

$$\sum_f \sum_p XT_{f,g,p}^t = \sum_p XM_{g,p}^t \quad \forall g, t \quad (۹)$$

$$\sum_g \sum_p XT_{g,d,p}^t = \sum_p XM_{d,p}^t \quad \forall d, p, t \quad (۱۰)$$

$$\sum_h \sum_p XT_{h,s,p}^t = \sum_p XM_{s,p}^t \quad \forall s, p, t \quad (۱۱)$$

$$\sum_f \sum_{pa} XT_{f,pa,p}^t = \sum_p XM_{pa,p}^t \quad \forall pa, p, t \quad (۱۲)$$

$$\sum_f \sum_{dp} XT_{f,dp,p}^t = \sum_p XM_{dp,p}^t \quad \forall dp, p, t \quad (۱۳)$$

$$\begin{aligned}
 Z_{ordering}^t &= \sum_f \sum_g \sum_p XT_{f,g,p}^t \times BC_{f,p}^t \\
 &+ \sum_f \sum_{pa} \sum_p XT_{f,pa,p}^t \times BC_{f,p}^t \quad (۴) \\
 &+ \sum_f \sum_{dp} \sum_p XT_{f,dp,p}^t \times BC_{f,p}^t
 \end{aligned}$$

$$Z_{operation}^t = \sum_g \sum_p XM_{g,p}^t \times OC_{g,p}^t$$

$$+ \sum_d \sum_p XM_{d,p}^t \times OC_{d,p}^t$$

$$+ \sum_{dp} \sum_p XM_{dp,p}^t \times OC_{dp,p}^t$$

$$+ \sum_s \sum_p XM_{s,p}^t \times OC_{s,p}^t \quad (۵)$$

$$+ \sum_h \sum_p XM_{h,p}^t \times OC_{h,p}^t$$

$$+ \sum_c \sum_p XM_{c,p}^t \times OC_{c,p}^t$$

$$+ \sum_{pa} \sum_p XM_{pa,p}^t \times OC_{pa,p}^t$$

$$\begin{aligned}
 Z_{holding}^t &= \sum_g \sum_p XH_{g,p}^t \times HC_{g,p}^t \\
 &+ \sum_d \sum_p XH_{d,p}^t \times HC_{d,p}^t
 \end{aligned}$$

$$+ \sum_{dp} \sum_p XH_{dp,p}^t \times HC_{dp,p}^t$$

$$+ \sum_s \sum_p XH_{s,p}^t \times HC_{s,p}^t$$

$$+ \sum_h \sum_p XH_{h,p}^t \times HC_{h,p}^t$$

$$+ \sum_c \sum_p XH_{c,p}^t \times HC_{c,p}^t$$

$$+ \sum_{pa} \sum_p XH_{pa,p}^t \times HC_{pa,p}^t \quad (۶)$$

$$Z_{transportation}^t = \sum_f \sum_g \sum_p XT_{f,g,p}^t \times TC_{f,g,p}^t$$

$$+ \sum_g \sum_d \sum_p XT_{g,d,p}^t \times TC_{g,d,p}^t$$

$$+ \sum_g \sum_h \sum_p XT_{g,h,p}^t \times TC_{g,h,p}^t$$

$$+ \sum_g \sum_c \sum_p XT_{g,c,p}^t \times TC_{g,c,p}^t$$

$$+ \sum_h \sum_s \sum_p XT_{h,s,p}^t \times TC_{h,s,p}^t \quad (۷)$$

$$+ \sum_s \sum_{pc} \sum_p XT_{s,pc,p}^t \times TC_{s,pc,p}^t$$

$$+ \sum_s \sum_{hc} \sum_p XT_{s,hc,p}^t \times TC_{s,hc,p}^t$$

$$+ \sum_s \sum_{fc} \sum_p XT_{s,fc,p}^t \times TC_{s,fc,p}^t$$

$$\sum_g XT_{f,g,p}^t + \sum_{pa} XT_{f,pa,p}^t \quad (۲۳)$$

$$+ \sum_{dp} XT_{f,dp,p}^t \leq FV_{f,p}^t \quad \forall f, p, t$$

$$XM_{g,p}^t \leq CV_{g,p}^t \times Y_g^t \quad \forall g, p, t \quad (۲۴)$$

$$XM_{d,p}^t \leq CV_{d,p}^t \times Y_d^t \quad \forall d, p, t \quad (۲۵)$$

$$XM_{h,p}^t \leq CV_{h,p}^t \times Y_h^t \quad \forall h, p, t \quad (۲۶)$$

$$XM_{s,p}^t \leq CV_{s,p}^t \times Y_s^t \quad \forall s, p, t \quad (۲۷)$$

$$XM_{pa,p}^t \leq CV_{pa,p}^t \times Y_{pa}^t \quad \forall pa, p, t \quad (۲۸)$$

$$XM_{dp,p}^t \leq CV_{dp,p}^t \times Y_{dp}^t \quad \forall dp, p, t \quad (۲۹)$$

$$XM_{c,p}^t \leq CV_{c,p}^t \times Y_c^t \quad \forall c, p, t \quad (۳۰)$$

$$\sum_p XH_{g,p}^t \leq CH_g^t \times Y_g^t \quad \forall g, t \quad (۳۱)$$

$$\sum_p XH_{d,p}^t \leq CH_d^t \times Y_d^t \quad \forall d, t \quad (۳۲)$$

$$\sum_p XH_{h,p}^t \leq CH_h^t \times Y_h^t \quad \forall h, t \quad (۳۳)$$

$$\sum_p XH_{s,p}^t \leq CH_s^t \times Y_s^t \quad \forall s, t \quad (۳۴)$$

$$\sum_p XH_{pa,p}^t \leq CH_{pa}^t \times Y_{pa}^t \quad \forall pa, t \quad (۳۵)$$

$$\sum_p XH_{dp,p}^t \leq CH_{dp}^t \times Y_{dp}^t \quad \forall dp, t \quad (۳۶)$$

$$\sum_p XH_{c,p}^t \leq CH_c^t \times Y_c^t \quad \forall c, t \quad (۳۷)$$

محدودیت (۲۳) نشان می‌دهد که میزان خرید محصولات از هر مزرعه نباید بیش از ظرفیت تعریف شده آن باشد. محدودیت محصولات تولید شده در هر مرکز با معادلات (۲۴)-(۳۰) بیان می‌شود. تعادل بین محصولات ذخیره شده و ظرفیت آن در هر مرکز با محدودیت (۳۱)-(۳۷) بیان شده است.

$$\sum_f \sum_p XT_{f,g,p}^t \times ag_{p,p'} = XM_{g,p'}^t \quad (۳۸)$$

$$\forall g, p' \neq p, t$$

$$\sum_g \sum_p XT_{g,d,p}^t \times ad_{p,p'} = XM_{d,p'}^t \quad (۳۹)$$

$$\forall d, p' \neq p, t$$

$$\sum_g \sum_p XT_{g,h,p}^t \times ah_{p,p'} = XM_{h,p'}^t \quad (۴۰)$$

$$\forall h, p' \neq p, t$$

$$\sum_f \sum_p XT_{f,pa,p}^t \times apa_{p,p'} = XM_{pa,p'}^t \quad (۴۱)$$

$$\forall pa, p' \neq p, t$$

$$\sum_f \sum_p XT_{f,dp,p}^t \times adp_{p,p'} = XM_{dp,p'}^t \quad (۴۲)$$

$$\forall dp, p' \neq p, t$$

$$\sum_h \sum_p XT_{h,s,p}^t \times ah_{p,p'} = XM_{s,p'}^t \quad (۴۳)$$

$$\forall s, p' \neq p, t$$

$$\sum_g \sum_p XT_{g,c,p}^t + \sum_d \sum_p XT_{d,c,p}^t$$

$$+ \sum_h \sum_p XT_{h,c,p}^t + \sum_s \sum_p XT_{s,c,p}^t \quad (۱۴)$$

$$+ \sum_{pa} \sum_p XT_{pa,c,p}^t + \sum_{dp} \sum_p XT_{dp,c,p}^t$$

$$= \sum_p XM_{c,p}^t \quad \forall c, t$$

$$XH_{g,p}^t - XH_{g,p}^{t-1} = XM_{g,p}^t - \sum_d XT_{g,d,p}^t \quad (۱۵)$$

$$- \sum_h XT_{g,h,p}^t - \sum_c XT_{g,c,p}^t \quad \forall g, p, t$$

$$XH_{d,p}^t - XH_{d,p}^{t-1} = XM_{d,p}^t - \sum_{fc} XT_{d,fc,p}^t \quad (۱۶)$$

$$- \sum_{gc} XT_{d,gc,p}^t - \sum_c XT_{d,c,p}^t \quad \forall d, p, t$$

$$XH_{h,p}^t - XH_{h,p}^{t-1} = XM_{h,p}^t - \sum_s XT_{h,c,p}^t \quad (۱۷)$$

$$- \sum_{fc} XT_{h,fc,p}^t - \sum_c XT_{h,c,p}^t \quad \forall h, p, t$$

$$XH_{s,p}^t - XH_{s,p}^{t-1} = XM_{s,p}^t - \sum_{pc} XT_{s,pc,p}^t \quad (۱۸)$$

$$- \sum_{hc} XT_{s,hc,p}^t - \sum_{fc} XT_{s,fc,p}^t - \sum_{ac} XT_{s,ac,p}^t$$

$$- \sum_c XT_{s,c,p}^t \quad \forall s, p, t$$

$$XH_{pa,p}^t - XH_{pa,p}^{t-1} = XM_{pa,p}^t - \sum_{pc} XT_{pa,pc,p}^t \quad (۱۹)$$

$$- \sum_{cc} XT_{pa,cc,p}^t - \sum_h XT_{pa,h,p}^t$$

$$- \sum_{ac} XT_{pa,ac,p}^t - \sum_c XT_{pa,c,p}^t \quad \forall pa, p, t$$

$$XH_{dp,p}^t - XH_{dp,p}^{t-1} = XM_{dp,p}^t$$

$$- \sum_{ac} XT_{dp,ac,p}^t - \sum_c XT_{dp,c,p}^t \quad \forall pa, p, t \quad (۲۰)$$

$$XH_{c,p}^t - XH_{c,p}^{t-1} = XM_{c,p}^t$$

$$- \sum_f XT_{c,f,p}^t \quad \forall c, p, t \quad (۲۱)$$

$$\sum_d XT_{d,i,p}^t + \sum_h XT_{h,i,p}^t + \sum_s XT_{s,i,p}^t$$

$$+ \sum_{pa} XT_{pa,i,p}^t + \sum_{dp} XT_{dp,i,p}^t \geq DM_{i,p}^t \quad (۲۲)$$

$$\forall i (= fc, pc, cc, hc, ac, gc), p, t$$

محدودیت‌ها (۹) - (۱۴) تعادل جریان محصول را نشان می‌دهد. این معادلات تضمین می‌کند که محصولات تولید شده در هر مرکز با محصولات ورودی در هر دوره برابر است. محدودیت (۱۵)-(۲۱) بیان می‌کند که مقدار کالای ارسال شده از هر مرکز به نقاط تقاضا (بازارهای احتمالی خرما) نباید از مقدار محصولات تولیدی و ذخیره شده در هر دوره بیشتر باشد. معادله (۲۲) نشان می‌دهد که تقاضای هر بازار باید در هر دوره تأمین شود.

شدنی و جای‌گزینی بهترین پاسخ فعلی هستند. چراغعلی پور و همکاران [۲۲]، برای اولین بار الگوریتم فراابتکاری کشتل چندهدفه را پیشنهاد داده‌اند که مراحل اجرای آن در شکل (۲) به‌نمایش درآمده است.

الگوریتم فراابتکاری PSO جزو یکی از قدیمی‌ترین الگوریتم‌های فراابتکاری است که توسط کندی و ابرت [۴۳]، پیشنهاد شده است. با توجه به این موضوع، می‌توان معادلات زیر را برای تعیین موقعیت ذره جدید و سرعت آن اندازه‌گیری کرد [۲۳] و [۵۰].

آخرین روش فراابتکاری استفاده شده برای پرداختن به مدل‌سازی چندهدفه NSGA-II است. این الگوریتم ابتدا توسط دب و همکاران [۴۴]، معرفی و پیاده‌سازی شد. برای در نظر گرفتن مراحل NSGA-II، الگوریتم با توسعه راه‌حل‌های تصادفی شروع می‌شود و سپس راه‌حل‌های توسعه‌یافته ارزیابی می‌شوند. برای انتخاب مجموعه بهتر از راه‌حل‌ها، دو اپراتور مؤثر این الگوریتم شامل ازدحام و مرتب‌سازی در روش الگوریتم استفاده می‌شوند. مکانیسم انتخاب NSGA-II براساس انتخاب تورنمنت باینری است. شبه‌کد NSGA-II در شکل (۴) ارائه شده است.

```

1. Land the (N) Keshrels and calculate their fitness
2. Do non-dominate sorting and Calculate crowding distance
3. Sort Keshrels respect to the crowding distance
4. Find the Lucky Keshrels (LK).
5. Find the best lucky Keshrel.
6. For each LK (Ni)
    6.1. Swirl the Nearest Keshrel (NK) around the LK.
    6.2. If NK finds better food than LK, replace NK with LK, find new NK, go to step 6.1
    6.3. If the food still exists, attract the NK, go to step, 6.1. if not, go to step 8.
7. Let the LKs remain in the lake.
8. Startle the Keshrels which have found less food and land new ones. (N3)
9. Move the remained Keshrels in the lake between other Keshrels. (N2)
10. Merged populations [N; N2; N3]
11. Do non-dominate sorting and Calculate crowding distance
12. Sort Keshrels respect to the crowding distance
13. Select (N) better Keshrels from this merged populations for next iteration
14. Do again step 11 and 12 for this new population
15. If stopping criteria are satisfied, stop, if not, go to step 5.

```

شکل (۲): شبه‌کد الگوریتم فراابتکاری چندهدفه کشتل

```

1. Set the parameters.
2. Generate initial particles (P).
3. Form the initial Pareto solutions.
4. Select the gbest as one of ideal non-dominated solutions.
5. while (t < maximum number of iteration)
6. for each particle p in P
7. fp=f(p); /*evaluate the particles*/
8. if fp is the better than pbest
9. pbest=p;
10. endif
11. endfor
12. gbest= best p in P;
13. for each particle p in P
14. v= w*v+c1*rand*(pbest-p)+c2*rand*(gbest-p);
15. p=p+v;
16. endfor
17. w=w*a;
18. t=t+1;
19. Update the Pareto solutions.
20. Update the non-dominated solutions.
21. Update gbest;
22. endwhile
23. return gbest

```

شکل (۳): شبه‌کد الگوریتم فراابتکاری MOPSO

$$\begin{aligned}
 & \sum_g \sum_p XT_{g,c,p}^t \times \alpha g_{p,p'} \\
 & + \sum_d \sum_p XT_{d,c,p}^t \times \alpha d_{p,p'} \\
 & + \sum_h \sum_p XT_{h,c,p}^t \times \alpha h_{p,p'} \\
 & + \sum_s \sum_p XT_{s,c,p}^t \times \alpha s_{p,p'} \\
 & + \sum_{pa} \sum_p XT_{pa,c,p}^t \times \alpha pa_{p,p'} \\
 & + \sum_{dp} \sum_p XT_{dp,c,p}^t \times \alpha dp_{p,p'} \\
 & = XM_{c,p'}^t, \forall c, p' \neq p, t
 \end{aligned} \tag{۴۴}$$

محدودیت‌های (۳۸)–(۴۴) نشان‌دهنده تعداد محصولات تولیدی

در مراکز تولید محصول می‌باشند.

$$Y_g^{t-1} \leq Y_g^t \quad \forall g, t \tag{۴۵}$$

$$Y_d^{t-1} \leq Y_d^t \quad \forall d, t \tag{۴۶}$$

$$Y_h^{t-1} \leq Y_h^t \quad \forall h, t \tag{۴۷}$$

$$Y_s^{t-1} \leq Y_s^t \quad \forall s, t \tag{۴۸}$$

$$Y_{pa}^{t-1} \leq Y_{pa}^t \quad \forall pa, t \tag{۴۹}$$

$$Y_{dp}^{t-1} \leq Y_{dp}^t \quad \forall dp, t \tag{۵۰}$$

$$Y_c^{t-1} \leq Y_c^t \quad \forall c, t \tag{۵۱}$$

محدودیت‌های (۴۵)–(۵۱) تضمین می‌کند که پس از افتتاح یک

مرکز در یک دوره، در دوره‌های بعدی به فعالیت خود ادامه می‌دهد.

۷. حل مسأله

در دنیای واقعی مسائل بسیار بزرگ بوده و با افزایش تعداد پارامترها و متغیرهای مسأله زمان حل آن‌ها به‌صورت نمایی رشد می‌کند. همچنین مطالعات گذشته نظیر [۳۵] نشان داده‌اند که یک روش فراابتکاری خاص قادر به تمامی مسائل ریاضیاتی نیست. بنابراین در این پژوهش از چندین روش فراابتکاری نظیر MOKA و MOPSO و NSGA-II استفاده شده تا ضمن بررسی عملکرد هر الگوریتم، کاراترین آن‌ها در حل مسأله نهایی مورد استفاده قرار گیرد. یکی از روش‌های حل مدل چندهدفه به‌صورت مستقیم استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه می‌باشد، در اینجا استفاده از الگوریتم MOKA پیشنهاد شده است. MOKA می‌تواند به‌طور مؤثر با مسأله پیشنهادی چندهدفه کارایی خود را نشان دهد. تنظیمات KA برای اولین بار توسط حاجی‌آقایی کشتلی و همکاران [۴۱] و [۴۲] معرفی شده است. این الگوریتم با مشاهده رفتار خاص اردک‌های کشتل کوچک هنگام تغذیه به‌دست آمده است. در مراحل خود، KA از سه قسمت N1، N2 و N3 جمعیت باهدف تشدید و متنوع‌سازی استفاده می‌کند. N1 مسئول یافتن منبع غذایی مناسب و همچنین جذب سایر کشتل‌ها برای ایجاد بهترین منبع غذایی است (بهترین پاسخ‌ها). علاوه بر این، N2 و N3 دو ابزار کارآمد برای بررسی فضای

```

1. Initialize Population;
2. Generate random population;
3. Evaluate Objectives Values;
4. For each Parent and Child in Population do
5.   Assign Rank (level) based on Pareto;
6.   Generate sets of nondominated solutions;
7.   Determine Crowding distance
8.   Loop (inside) by adding solutions to next generation
9. End
10. Determine population front;
11. For each determined front
12.   Perform binary tournament selection (NSGA-II);
13. Generate new population with mutation and crossover;
14 End
    
```

شکل (۴): شبه کد الگوریتم فراابتکاری NSGA-II

در این قسمت تعدادی از روش‌های فراابتکاری، ترکیبی و چند هدفه جدید جهت حل مسأله و به‌همراه گام‌های آن تشریح شده‌اند. جهت تنظیم پارامترهای این الگوریتم‌های فراابتکاری روش‌های مختلفی وجود دارد که در اینجا از روش تاگوچی بهره خواهیم برد. قسمت بعدی به تشریح عملکرد این روش پرداخته است.

۸. روش تاگوچی

در این بخش، کارایی الگوریتم‌های فراابتکاری پیشنهادی در نظر گرفته شده است. به‌منظور به‌دست آوردن بهترین نتایج از رویکردهای فراابتکاری به‌کار رفته، پس از تولید داده ورودی تصادفی، استفاده از روش تاگوچی در نظر گرفته می‌شود. این روش توسط [۴۵] ارائه شده است که آزمایش‌های مختلف تست به‌همراه تنظیم پارامتر برای هر الگوریتم را ارائه می‌دهد تا بهترین نتیجه را در مسأله پیشنهادی به‌دست آورد. از این طریق بهترین تصمیم برای پارامترهای الگوریتم در نظر گرفته شده و الگوریتم فراابتکاری در هنگام حل بهترین پاسخ‌ها را خواهد یافت. از طرفی تاگوچی با پیشنهاد و طراحی تعدادی آزمایش مشخص و تولید آرایه‌های متعامد از انجام آزمایش‌های غیرضروری جلوگیری به‌عمل آورده و سبب کاهش زمان حل و نمایش پاسخ‌های مسأله می‌شود.

در این زیربخش از برنامه رویکرد تاگوچی استفاده شده است تا

پارامترهای الگوریتم‌ها را به‌منظور دستیابی به نتایج بهینه تنظیم کند. با استفاده از روش تاگوچی با از بین بردن آزمایش‌های غیرضروری تعداد کل آزمایش‌ها کاهش می‌یابد. در این راستا، از دسته عواملی استفاده می‌شود که مبتنی بر آرایه‌های متعامد هستند. این عوامل به دو گروه اساسی کنترل و فاکتور سیگنال به‌نویز تقسیم می‌شوند. از این‌رو برای ارزیابی این تغییر پاسخ، روشی برای تأیید نسبت سیگنال به‌نویز مورد نیاز است. لازم به ذکر است، تنظیمات تاگوچی مربوط به نوع پاسخ است. در این مطالعه، نوع پاسخ "کوچکتر بهتر است" برای تعیین بهترین تنظیمات در هر سطح در نظر گرفته شده است. فاکتورهای در نظر گرفته شده به‌همراه سطوح آن برای الگوریتم‌های فراابتکاری به‌صورت جدول (۳) می‌باشند.

در آزمایشات پیشنهادی، مقیاس اهداف متفاوت است. از این‌رو، استفاده مستقیم از این مقادیر اشتباه می‌باشد. برای مقابله با این موضوع، استفاده از روش درصد انحراف نسبی (RPD) برای هر آزمایش پیشنهاد شده است. نمایش فرمول آن به‌صورت معادله زیر می‌باشد:

$$RPD = \frac{Alg_{sol} - Min_{sol}}{Min_{sol}} \quad (۵۴)$$

در معادله (۵۴)، ما Alg_{sol} را به‌عنوان مقادیر هدف به‌دست آمده برای هر تکرار و Min_{sol} را بهترین راه‌حل به‌دست آمده در هر آزمایش تعریف می‌کنیم. پس از تبدیل مقادیر هدف، میانگین RPD باید برای هر آزمایش محاسبه شود. براساس دستورالعمل طراحی پارامتر تاگوچی، میانگین RPDها به‌نسبت S/N تبدیل می‌شوند، نسبت S/N آزمایش‌ها در هر سطح به‌طور متوسط انجام شده است. استفاده از روش تاگوچی به مدل اجازه می‌دهد تا آزمایشات را در هر بار کاهش دهد. ما این کار را با تنظیم یک آرایه متعامد که به‌روش تاگوچی تولید می‌شود، انجام می‌دهیم.

طبق تنظیمات از پیش تعریف شده، روش تاگوچی L9 را برای الگوریتم سه الگوریتم اول و L27 را برای سایر مقادیر به‌کار می‌بریم. نتایج حاصل از نسبت سیگنال به‌نویز در شکل‌های زیر به‌نمایش درآمده است.

جدول (۳): الگوریتم‌های پیشنهادی به‌همراه سطوح در نظر گرفته شده برای هر فاکتور

سطوح			فاکتورهای در نظر گرفته شده	الگوریتم‌ها
۳	۲	۱		
٪۱۸	٪۱۲	٪۶	A: M ₁	MOKA
٪۲۵	٪۲۰	٪۱۵	B: M ₂	
۰/۳	۰/۲۵	۰/۲	C: S _{max}	
۲۵۰	۲۰۰	۱۵۰	D: N-Keshtel	
۱۲۰۰	۱۴۰۰	۱۵۰۰	E: Max-iteration	
۰/۸۵	۰/۶۵	۰/۵۵	A: W	MOPSO
۱/۸	۱/۷	۱/۲	B: C1	
۱/۸	۱/۷	۱/۲	C: C2	
۵۵	۴۵	۳۵	D: N-pop	
۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	E: Max-iteration	

سطوح			فاکتورهای در نظر گرفته شده	الگوریتم‌ها
۳	۲	۱		
۰/۸۵	۰/۷۵	۰/۶۵	A: Pc	NSGA-II
۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۸	B: Pm	
۱۹۰	۱۴۰	۹۰	C: N-pop	
۳۰۰	۲۵۰	۱۵۰	D: Max-iteration	

با استفاده از شکل‌های (۵)–(۷)، بهترین پارامترهای هر الگوریتم فراابتکاری در جدول (۴) ارائه می‌شوند.

۹. تحلیل و اعتبارسنجی نتایج

در این بخش مدل پیشنهادی در حجم‌های مطالعاتی مختلف و توسط الگوریتم‌های پیشنهادی علاوه بر روش دقیق در گمز حل شده‌اند. ۱۲ نمونه مختلف برای این امر پیشنهاد شده‌اند و نتایج در جدول (۵) ارائه می‌شود.

در این قسمت، تجزیه و تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای اصلی انجام می‌شود. جدول (۶) رفتار مدل را هنگام تغییر در مقادیر موجودی نشان داده است. تغییرپذیری مدل، تأثیرات آن بر پارامترها و متغیرهای مختلف و تابع هدف هر الگوریتم فراابتکاری در اینجا نشان داده شده است. افزایش سطح هزینه موجودی کالا منجر به افزایش کل هزینه‌های شبکه پیشنهادی زنجیره تأمین می‌شود. علاوه بر این، پارامترهای دیگری که تحت تأثیر این تغییر قرار می‌گیرند در جدول (۶) نشان داده شده‌اند.

در ادامه هزینه‌های حمل و نقل در نظر گرفته شده است. بنابراین در درجه اول ارزش آن را ۲۰ و ۴۰ درصد افزایش و سپس کاهش داده شد. تغییرات پارامترهای دیگر در جدول (۷) نشان داده شده است. این افزایش سبب افزایش هزینه‌های بازگشایی و خرید شده است. بالین حال، افزایش در هزینه‌های خرید زیاد نیست. به علاوه، چنین افزایشی باعث کاهش هزینه عملیاتی می‌شود زیرا مرکز جدید باید با هزینه فرآیند کمتری افتتاح شود.

جدول (۴): الگوریتم‌های پیشنهادی و مقادیر تنظیم شده

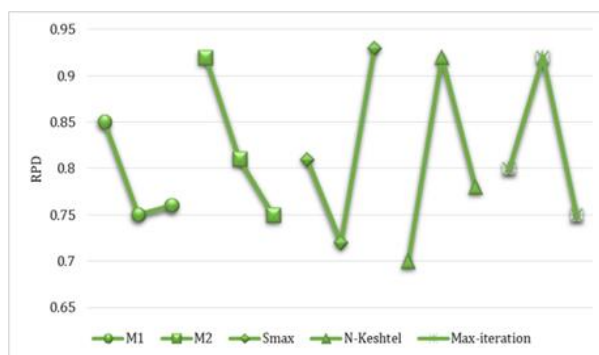
پارامترهای آن‌ها	الگوریتم
M1=12%; M2=25%; Smax=0.25; N-Keshtel=150; Max-iteration=1200	MOKA
W=0.65; C1=1.2; C2=1.8; N-pop=45; Max-iteration=100	MOPSO
Pc=0.75; Pm=0.12; N-pop=190; Max-iteration=150	NSGA-II

۱۰. نتیجه‌گیری

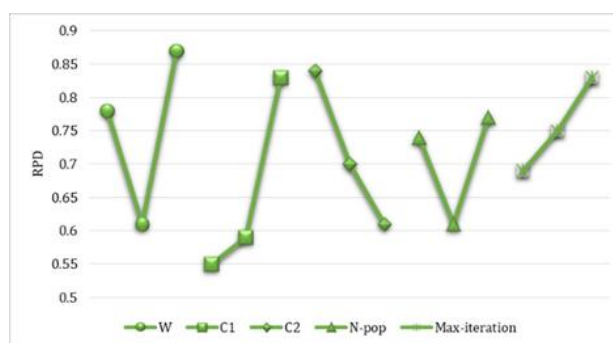
در نظر گرفتن زنجیره تأمین کشاورزی و تعیین جریان بهینه در بین سطوح مختلف زنجیره ارزش محصول، می‌تواند به طور قابل توجهی بر سودآوری نوع خاصی از محصولات تأثیر بگذارد. برای تضمین حداکثر

لازم به ذکر است برای استفاده از الگوریتم تاگوچی و تنظیم پارامترها از نرم‌افزار مینی‌تب^۱ بهره برده‌ایم. نتایج براساس RPD و مقادیر سیگنال به نویز به صورت زیر می‌باشد:

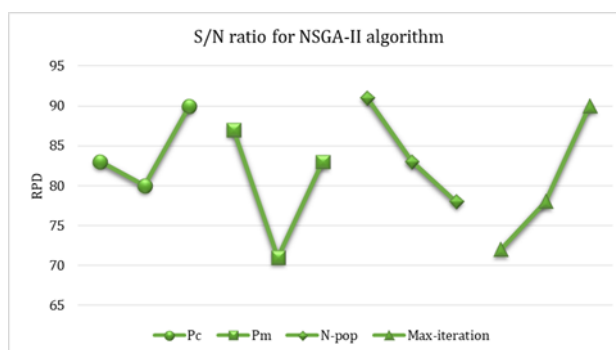
جهت تعیین بهترین مقدار در هر سطح به ترتیب و از چپ به راست در هر نمودار مقدار حداقل در هر سطح را به عنوان بهترین مقدار مورد استفاده قرار می‌دهیم. این امر باتوجه به تابع هدف کمینه‌سازی مسأله و پاسخ کمتر-بهرتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل (۵): نمودار سیگنال به نویز برای الگوریتم MOKA



شکل (۶): نمودار سیگنال به نویز برای الگوریتم MOPSO



شکل (۷): نمودار سیگنال به نویز برای الگوریتم NSGA-II

است تا هم کارایی جریان محصول را در جهت جلو افزایش دهد و هم با کاهش هزینه‌های مرتبط زنجیره‌تأمین با بهینه‌سازی جریان جلو و معکوس را بهینه نماید. مدل پیشنهادی استفاده شده برای محاسبه استراتژیک تعداد مراکز باز شده طراحی شده است. به علاوه، این مدل با بهینه‌سازی جریان روبه جلو و معکوس، هزینه‌های کل لجستیک و سبز بودن ناشی از انتشارات را به حداقل می‌رساند.

بهره‌وری برای نوع خاصی از محصولات کشاورزی مانند خرما، طراحی شبکه زنجیره‌تأمین موردنیاز است. طراحی شبکه زنجیره‌تأمین برای این محصول مهم هم باعث کاهش کل هزینه‌های این صنعت می‌شود و هم باعث افزایش کارایی در مورد محصولات قبلی تلف شده می‌شود. این محصولات را می‌توان به بازارهای مختلف منتقل کرد و ضایعات آن‌ها را دوباره برای استخراج اضافه کرد. در این راستا، یک شبکه کارآمد زنجیره‌تأمین حلقه بسته برای محصولات خرما طراحی شده

جدول (۵): نتایج حل مدل

مقدار هدف/مسائل	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
GAMS	۶۹۸۶۳۴/۱۱۱۵	۵۰۶۲۱۶/۷۸۱	۵۱۲۱۱۹/۰۰۷	۵۴۳۸۵۷/۲۰۴	۵۶۵۵۵۷/۰۰۷	-	-	-	-	-	-	-
زمان محاسبه	۱۲۴۳	۱۴۹۷	۱۸۲۳	۲۰۰۹	۲۸۱۲	-	-	-	-	-	-	-
MOKA	۴۸۵۱۷۱/۰۶۶	۴۲۵۵۵۱/۸۴۷	۴۹۸۲۸/۸۷۵	۵۲۹۱۸۲/۷۸	۵۸۳۳۰/۱۶۷	۶۱۰۴۴/۲۱۸	۶۳۳۳۱/۴۶۴	۶۷۸۶۶۹/۵۵۷	۷۳۸۰۱۱/۴۵۳	۸۰۹۰۲۶/۹۸۸	۸۳۶۴۸/۳۳۵	۹۲۱۷۲۵/۹۲۶
زمان محاسبه	۰/۴۰	۱/۸۱	۷/۲۰	۱۰/۳۰	۱۵/۲۰	۴۴/۸۷	۱۰۹/۸۶	۲۱۴/۹۵	۳۰۵/۱۹	۳۷۲/۴۱	۵۳۵/۳۱	۵۹۱/۳۲
MOPSO	۴۸۸۶۶۱/۵۰۵	۴۶۶۰۹۵/۳۸۵	۵۰۱۸۷۳/۶۸۷	۵۳۹۹۸۹/۸۶	۵۸۷۵۳۶/۸۵۹	۶۱۴۸۵۶/۰۴۶	۶۳۷۶۸۸/۵۲۵	۶۸۳۵۵۲/۰۷۲	۷۴۳۳۲۱/۳۲۲	۸۱۴۸۵۰/۳۴۸	۸۶۹۸۶۱/۷۳۳	۹۲۸۳۵۷/۰۵۱
زمان محاسبه	۰/۴۱	۱/۸۵	۷/۳۶	۱۰/۵۲	۱۵/۵۴	۴۵/۸۶	۱۱۲/۲۷	۱۱۵/۴۲	۱۳۳/۷۴	۲۰۲/۰۸	۲۹۷/۱۴	۴۱۲/۳۹
NSGA-II	۴۸۹۶۰/۱۳۹	۴۶۶۶۰۱/۶۰۵	۵۰۲۳۸۵/۸۰۳	۵۳۳۵۳۳/۷۲۷	۵۸۱۱۳۶/۳۸۶	۶۱۵۴۸۲/۴۵۱	۶۳۸۶۴۹/۵۳۴	۶۸۴۲۴۹/۵۷۴	۷۴۴۰۷۶/۸۷۳	۸۱۵۶۸۱/۷۲۸	۸۷۰۷۴۹/۴۷	۹۲۹۳۰۴/۳۵۴
زمان محاسبه	۰/۳۴	۱/۵۵	۶/۱۷	۸/۸۳	۱۳/۰۳	۳۸/۴۶	۹۴/۱۶	۱۸۴/۲۴	۲۶۱/۵۹	۳۱۹/۲۱	۴۵۸/۸۴	۵۰۶/۸۴

جدول (۶): تحلیل حساسیت هزینه نگهداری موجودی

HC (هزینه نگهداری موجودی)			
% ۴۰↓	% ۰	% ۴۰↑	
۱۴۹۱	۹۱۸	۶۸۰	کل موجودی
% ۱۳/۱	-	% ۰	هزینه بازگشایی
% ۰-۹۷۲	-	% ۰/۰۰۵	هزینه خرید
% ۰-۴/۱۵۵	-	% ۱/۷۵۶	هزینه عملیاتی
% ۲/۷۵۴	-	% ۱/۳۴۵	هزینه حمل‌ونقل
% ۰-۲/۱۴۷	-	% ۳/۱۲۲	MOKA
% ۰-۲/۲۵۴	-	% ۳/۷۶۸	MOPSO
% ۰-۱/۹۸۸	-	% ۲/۱۳۱	NSGA – II
% ۰-۱/۸۷۲	-	% ۱/۴۹۱	هزینه
% ۰-۱/۳۴۱	-	% ۰/۷۹۴	سبز بودن

تابع هدف

جدول (۷): تحلیل % حساسیت هزینه حمل و نقل

هزینه حمل و نقل							
٪ ۴۰↑	٪ ۲۰↑	٪ ۰	٪ ۲۰↑	٪ ۴۰↑			
٪-۱۵/۳۰۳	٪۰	-	٪۶/۰۰۱	٪۲۷/۳۷۲	هزینه بازگشایی		
٪-۰/۸۱۲	٪-۳/۳۷۱	-	٪۲/۳۰۴	٪۱/۳۸۴	هزینه خرید		
٪۳/۹۱۴	٪۲/۱۴۷	-	٪-۱/۱۸۷	٪-۳/۴۱۷	هزینه عملیاتی		
٪-۰/۶۱۷	٪-۰/۹۱۷	-	٪۰/۴۰۴	٪۱/۲۸۷	هزینه نگهداری موجودی		
٪-۱۱/۴۸۷	٪-۵/۵۴۸	-	٪۶/۸۴۱	٪۱۱/۳۱۰	MOKA		
٪-۱۰/۳۹۴	٪-۴/۱۴۷	-	٪۶/۹۴۷	٪۱۲/۴۱۸	MOPSO		
٪-۱۱/۰۱۲	٪-۵/۳۵۷	-	٪۶/۹۰۴	٪۱۳/۸۰۱	NSGA - II	تابع هدف	
٪-۱۰/۱۴۷	٪-۴/۸۰۹	-	٪۶/۰۰۹	٪۱۲/۹۷	هزینه		
٪-۱۰/۰۰۹	٪-۴/۱۹۶	-	٪۶/۱۳۲	٪۱۴/۴۰۳	سبز بودن		

ضروری است. برای پیشبرد این مطالعه، عواملی مانند عوامل اجتماعی و محیطی، مصرف آب و فرصت اشتغال شغلی باید به توسعه مدل برای در نظر گرفتن هم‌زمان این موارد کمک کنند. همچنین باتوجه به عدم قطعیت در نرخ عرضه و تقاضا می‌توان مدیریت ریسک و حاشیه امن تولید و فروش را در مطالعات مورد ارزیابی قرار داد. از نکات دیگر قابل اشاره می‌توان به طراحی شبکه‌های مشابه باتوجه به ویژگی‌های منحصر به فرد و بازار موجود برای سایر محصولات باغی و زراعی اشاره نمود.

مراجع

- [1] Fathollahi-Fard, A.M., Hajiaghahi-Keshteli, M., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2018). "The social engineering optimizer (SEO)", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 72: 267-293.
- [2] Weber, H., Wiek, A., & Lang, D. J. (2020). Sustainability entrepreneurship to address large distances in international food supply. *Business Strategy & Development*, 3(3): 318-331.
- [3] Hajiaghahi-Keshteli, M., Cheraghali-pour, A. (2017). "An integrated approach for collection center selection in reverse logistics", *International Journal of Engineering*, 30: 1005-1016 .
- [4] Liao, Y., Kaviyani-Charati, M., Hajiaghahi-Keshteli, M., Diabat, A. (2020). "Designing a closed-loop supply chain network for citrus fruits crates considering environmental and economic issues", *Journal of Manufacturing Systems*, 55: 199-220 .
- [5] Cheraghali-pour, A., Paydar, M.M., Hajiaghahi-Keshteli, M. (2019). "Designing and solving a bi-level model for rice supply chain using the evolutionary algorithms", *Computers and Electronics in Agriculture*, 162: 651-668 .
- [6] Motevalli-Taher, F., Paydar, M. M., & Emami, S. (2020). Wheat sustainable supply chain network design with forecasted demand by simulation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105763.
- [7] FAO, www.fao.org/dateproduct (2021).
- [8] FAO, www.fao.org/dateproduct (2020).

علاوه بر این طراحی پایدار شبکه زنجیره تأمین بر اساس ویژگی‌های اصلی میوه و درخت خرما از جنبه‌های دیگر قابل توجه مطالعه اخیر می‌باشد. ویژگی منحصر به فرد این محصول سبب شده تا در یک شبکه پایدار و در مسیر روبه جلو قسمت‌های مختلف این محصول در صنایع مختلف مورد استفاده قرار گیرد. همچنین با در نظر گرفتن سطوحی حلقه بسته و روبه عقب کمترین میزان خروجی مورد انتظار بوده است چراکه حتی ضایعات این محصول ارزشمند قابلیت تبدیل به کومپوست جهت استفاده مجدد در باغات نخل را داشته است. از این رو شبکه پیشنهادی یک شبکه منحصر به فرد بوده است. همچنین انجام این امر برای سایر محصولات باغی و زراعی قابل اجرا می‌باشد.

از جنبه مدیریتی، در نظر گرفتن جهت روبه جلو می‌تواند منجر به بهینه شدن مسأله شود. با این حال، در نظر گرفتن مراکز ویژه برای جمع‌آوری و انتقال ضایعات محصول، بیشترین سود حاصل از صنعت محصول خرما را تضمین می‌کند. همچنین، تجزیه و تحلیل حساسیت انجام شده در مورد موجودی محصول، افزایش هزینه بازگشایی در هنگام افزایش ارزش آن را نشان داده است. بنابراین، مدیران می‌توانند به صورت دقیق تصمیم بگیرند که بین این دو هزینه یک توافق تجاری منحصر به فرد را توجیه کند در نظر بگیرند. در واقع، بخش‌های دولتی و خصوصی از نظر هزینه، کیفیت و جنبه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی این بهینه‌سازی، ذینفع می‌باشند. با بهینه‌سازی شبکه، عوامل اصلی مزیت‌های رقابتی در زنجیره تأمین نیز بهینه می‌شوند. بنابراین، همه ذینفعان مربوط به زنجیره تأمین می‌توانند از مزایای این بهینه‌سازی‌ها بهره ببرند. حتی مشتریان این زنجیره می‌توانند از کیفیت بهتر و هزینه پایین محصول استفاده کنند.

نکته آخر این که، با اعمال و ایجاد تدارکات معکوس، می‌توان زباله‌های زنجیره را به بهترین روش بازیافت کرد. بنابراین، این اقدام خود می‌تواند مزایای غیر قابل ارزیابی، عمدتاً در جنبه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی را فراهم کنند. باتوجه به موضوعات در حال ظهور از جمله تلفیق الگوریتم‌های قدیمی و فراابتکاری جدید برای بررسی تغییرات پیشنهاد می‌شود. برای دستیابی به یک تصمیم دقیق مدیریتی، اعمال و تجزیه و تحلیل تنظیمات مطالعه پیشنهادی در سایر پارامترها کاملاً

- loop supply chain using Pareto-based algorithms”, *Applied Soft Computing*, 33: 59-63.
- [23] Amiri, S. A. H. S., Zahedi, A., Kazemi, M., Soroor, J., Hajiaghahi-Keshmeli, M. (2021). “Determination of the optimal sales level of perishable goods in a two-echelon supply chain network”, *Computers & Industrial Engineering*, 139: 106-156 .
- [24] Jabarzadeh, Y., Yamchi, H.R., Kumar, V., Ghaffarinasab, N. (2020). “A multi-objective mixed-integer linear model for sustainable fruit closed-loop supply chain network”, *Management of Environmental Quality: International Journal*. 93: 37-45 .
- [25] Zhao, R., Liu, Y., Zhang, Z., Guo, S., Tseng, M. L., & Wu, K. J. (2018). Enhancing eco-efficiency of agro-products’ closed-loop supply chain under the belt and road initiatives: A system dynamics approach. *Sustainability*, 10(3), 668. Paksoy, T., Pehlivan, N. Y., 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: 2762-2776 .
- [26] Rocco, C. D., Morabito, R. (2016). “Production and logistics planning in the tomato processing industry: A conceptual scheme and mathematical model”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 127: 763-774.
- [27] Soto-Silva, W. E., González-Araya, M. C., Oliva-Fernández, M. A., Plà-Aragónés, L. M. (2017). “Optimizing fresh food logistics for processing: Application for a large Chilean apple supply chain”, *Computers and Electronics in Agriculture*. 53: 227-238 .
- [28] Ghezavati, V., Hooshyar, S., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2017). “A Benders’ decomposition algorithm for optimizing distribution of perishable products considering postharvest biological behavior in agri-food supply chain: a case study of tomato”, *Central European Journal of Operations Research*, 25: 29-54.
- [29] Ma, X., Wang, S., Islam, S. M., Liu, X. (2019). “Coordinating a three-echelon fresh agricultural products supply chain considering freshness-keeping effort with asymmetric information”, *Applied Mathematical Modelling*, 67: 337-356 .
- [30] Roghanian, E., Cheraghalipour, A. (2019). “Addressing a set of meta-heuristics to solve a multi-objective model for closed-loop citrus supply chain considering CO2 emissions”, *Journal of Cleaner Production*, 239: 81-118 .
- [31] Jifroudi, S., Teimoury, E., Barzinpour, F. (2020). “Designing and planning a rice supply chain: a case study for Iran farmlands”, *Decision Science Letters*, 9: 163-180 .
- [32] Yan, B., Chen, X., Cai, C., Guan, S. (2020). “Supply chain coordination of fresh agricultural products based on consumer behavior”, *Computers & Operations Research*, 123: 105-138 .
- [33] Chavez, M. M. M., Sarache, W., Costa, Y., Soto, J. (2020). “Multiobjective stochastic scheduling of upstream
- [9] Moniri, A., Yousefi Yegane, B. (2018). “Simultaneous Pricing, Routing, and Inventory Control for Perishable Goods in a Two-echelon Supply Chain”, *International Journal of Engineering*, 31: 1074-1081 .
- [10] Stoecker, A., Seidmann, A., Lloyd, G. (1985). “A linear dynamic programming approach to irrigation system management with depleting groundwater”, *Management Science*, 31: 422-434 .
- [11] Miller, W., Leung, L., Azhar, T., Sargent, S. (1997). “Fuzzy production planning model for fresh tomato packing”, *International Journal of Production Economics*, 53: 227-238 .
- [12] Ekman, S. (2000). “I—Information Technology: Tillage System Selection: a Mathematical Programming Model incorporating Weather Variability”, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77: 267-276 .
- [13] Caixeta-Filho, J.V. (2006). “Orange harvesting scheduling management: a case study”, *Journal of the Operational Research Society*, 57: 637-642 .
- [14] Apaiah, R. K., Hendrix, E. M. (2005). “Design of a supply chain network for pea-based novel protein foods”, *Journal of Food Engineering*. 55: 199-220.
- [15] Ferrer, J.C., Mac Cawley, A., Maturana, S., Toloza, S., Vera, J. (2008). “An optimization approach for scheduling wine grape harvest operations”, *International Journal of Production Economics*, 112: 985-999 .
- [16] Arnaout, J.P.M., Maatouk, M. (2010). “Optimization of quality and operational costs through improved scheduling of harvest operations”, *International Transactions in operational research*, 17: 595-605 .
- [17] Ahumada, O., Villalobos, J. R. (2011). “Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products”, *International Journal of Production Economics*, 133: 677-687 .
- [18] Tan, B., Çöm den, N. (2012). “Agricultural planning of annual plants under demand, maturation, harvest, and yield risk”, *European Journal of Operational Research*, 220: 539-549 .
- [19] Teimoury, E., Nedaei, H., Ansari, S., Sabbaghi, M. (2013). “A multi-objective analysis for import quota policy making in a perishable fruit and vegetable supply chain: A system dynamics approach”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 93: 37-45 .
- [20] Agustina, D., Lee, C., Piplani, R. (2014). “Vehicle scheduling and routing at a cross docking center for food supply chains”, *International Journal of Production Economics*, 152: 29-41 .
- [21] González-Araya, M. C., Soto-Silva, W. E., Espejo, L.G.A. (2015). “Harvest planning in apple orchards using an optimization model”, In *Handbook of operations research in agriculture and the agri-food industry*. 133:79-105
- [22] Cheraghalipour, A., Paydar, M. M., Hajiaghahi-Keshmeli, M. (2018). “A bi-objective optimization for citrus closed-

- [43] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. A. M. T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2): 182-197.
- [44] Taguchi, G. (1986). *Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes* (No. 658.562 T3).
- [45] Anggraeni, E. W., Handayati, Y., & Novani, S. (2022). Improving Local Food Systems through the Coordination of Agriculture Supply Chain Actors. *Sustainability*, 14(6): 3281.
- [46] Baghizadeh, K., Cheikhrouhou, N., Govindan, K., & Ziyarati, M. (2022). Sustainable agriculture supply chain network design considering water-energy-food nexus using queuing system: A hybrid robust possibilistic programming. *Natural Resource Modeling*, 35(1): e12337.
- [47] Latino, M. E., Menegoli, M., Lazoi, M., & Corallo, A. (2022). Voluntary traceability in food supply chain: a framework leading its implementation in Agriculture 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 178: 121564.
- [48] Karras, A., Karras, C., Drakopoulos, G., Tsohis, D., Mylonas, P., & Sioutas, S. (2022). SAF: A Peer to Peer IoT LoRa System for Smart Supply Chain in Agriculture. In *IFIP International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations* (pp. 41-50). Springer, Cham.
- [49] Yadav, V. S., Singh, A. R., Gunasekaran, A., Raut, R. D., & Narkhede, B. E. (2022). A systematic literature review of the agro-food supply chain: Challenges, network design, and performance measurement perspectives. *Sustainable Production and Consumption*, 29: 685-704.
- [۵۰] قندی بیدگلی، س.، امینی م. (۲۰۲۱). "ارائه مدل زمان‌بندی چندعاملی در محیط جریان کارگاهی با فرض زوال‌پذیری کارها، زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی و زمان آزادسازی کارها با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه." *نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید* ۹(۱۸): ۷۹-۵۹.
- [۵۱] ثقه‌ئی، ا. و همکاران. (۲۰۲۱). "ارائه رویکرد برنامه‌ریزی دوسطحی چندپیرو در حالت عدم همکاری برای موقعیت‌یابی از پیش‌انبارهای اضطراری بحران." *نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید* ۹(۱۸): ۹۵-۸۱.
- operations in a sustainable sugarcane supply chain", *Journal of Cleaner Production*, 276: 123-305 .
- [34] Salehi-Amiri, A., Zahedi, A., Gholian-Jouybari, F., Calvo, E. Z. R., & Hajiaghahi-Keshteli, M. (2022). Designing a closed-loop supply chain network considering social factors; a case study on avocado industry. *Applied Mathematical Modelling*, 101: 600-631.
- [35] Ruffi-Salís, M., Petit-Boix, A., Villalba, G., Sanjuan-Delmás, D., Parada, F., Ercilla-Montserrat, M., Gabarrell, X. (2020). "Recirculating water and nutrients in urban agriculture: An opportunity towards environmental sustainability and water use efficiency", *Journal of Cleaner Production*, 123: 121-145 .
- [36] Ricardi, P. (2020). Trade and Consumer Goods. In *An Archaeology of Nineteenth-Century Consumer Behavior in Melbourne, Australia, and Buenos Aires, Argentina* (pp. 165-183). Springer, Cham.
- [37] Moretti, B., Bertora, C., Grignani, C., Lerda, C., Celi, L., Sacco, D. (2020). "Conversion from mineral fertilisation to MSW compost use: nitrogen fertiliser value in continuous maize and test on crop rotation", *Science of The Total Environment*, 705: 135-308 .
- [38] He-Lambert, L., Shylo, O., English, B. C., Eash, N. S., Zahn, J. A., Lambert, D. M. (2019). "Supply chain and logistic optimization of industrial Spent Microbial Biomass distribution as a soil amendment for field crop production. *Resources*", *Conservation and Recycling*, 146: 218-231 .
- [39] Kim, T., Glock, C. H., Kwon, Y. (2014). "A closed-loop supply chain for deteriorating products under stochastic container return times", *Omega*, 43: 30-40 .
- [40] Hajiaghahi-Keshteli, M., Aminnayeri, M. (2013). "Keshtel Algorithm (KA); a new optimization algorithm inspired by Keshtels' feeding", Paper presented at the Proceeding in *IEEE Conference on Industrial Engineering and Management Systems*, 123: 121-145.
- [41] Hajiaghahi-Keshteli, M., Aminnayeri, M. (2014). "Solving the integrated scheduling of production and rail transportation problem by Keshtel algorithm", *Applied Soft Computing*, 25: 184-203.
- [42] Kennedy, J., Eberhart, R. (1995). "Particle swarm optimization", Paper presented at the Proceedings of *ICNN'95-International Conference on Neural Networks*. 55: 199-220.



DOI: 10.22084/IER.2022.26317.2091

Multi-objective Optimization in the Date Supply Chain Network Design

A. Hamdi-Asl¹, H. Amoozad-Khalili^{2*}, R. Tavakkoli-Moghaddam³, M. Hajiaghaei-Keshteli⁴

¹ PhD student in Industrial Engineering, Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Industrial Engineering Department, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran

³ Professor, Faculty of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

⁴ Professor at the Faculty of Engineering and Science, Universidad Tecnológico de Monterrey, Mexico

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27 October 2021

Accepted 26 February 2022

Keywords:

Network Design
Agricultural Supply Chain
Reverse Logistics
Meta-Heuristic Algorithm

ABSTRACT

Recently, food and agricultural supply chains have attracted researchers' attention as they provide more values for their stockholders. Hence a new approach to design a closed-loop supply chain network for date products is firstly developed in this work, which is one of the most well-known, rich, and desirable fruits. Date products and by-products are also considered in this network for the use in their target markets. In this regard, a new mathematical model is formulated to optimize the total costs including fixed, processing, operating, and transportation costs in both forward and reverse flows. The main contribution of this paper is to consider an innovative supply chain network model based on the unique characteristics of the date product. In this closed-loop network, the sustainability of the date product in the supply chain network is investigated for the first time. Also, product waste collection to the recycling centers is introduced in this model. To address the developed model, a set of meta-heuristic algorithms and a hybrid one along with the CPLEX solver of GAMS are utilized. Moreover, to validate the proposed model and the performance of these algorithms, several problem sizes are generated and solved. To achieve the best results, the parameters of the proposed algorithms are tuned based on the Taguchi method. Last but not least, sensitivity analyses are conducted and the results show a meaningful decrease in the overall costs of the date industry considering by-products and waste collection in the reverse flow.

* Corresponding author. H. Amoozadkhalili
Tel.:021-88691520; E-mail address: amoozad92@yahoo.com