مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال چهاردهم، شماره سوم (پیاپی ۵۴)، پاییز ۹۶، ص ص ۳۴-۱۵
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

طراحی شبکه زنجیره تامین چند دوره‌ای و سه سطحی برای محصولات زراعی فاسد شدنی با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری

آرمین چراغعلی پور[۱]، محمد مهدی پایدار*[۲]، مصطفی حاجی آقائی کشتلی[۳]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و فناوری مازندران، گروه مهندسی صنایع، بهشهر، ایران
۲- استادیار، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، گروه مهندسی صنایع ، بابل، ایران
۳ - استادیار ، دانشگاه علم و فناوری مازندران، گروه مهندسی صنایع ، بهشهر، ایران

رسید مقاله: ۱۸ فروردین ۱۳۹۶
پذیرش مقاله: ۹ شهریور ۱۳۹۶

چکیده
سالانه به دلایل مختلف مقدار قابل‌ملاحظه‌ای از محصولات تولیدی در صنایع مختلف غذایی و زراعی در زنجیره تامین خود فاسد می‌شوند. مکانیزم‌های مختلفی نیاز هست تا این ضایعات را کاهش دهد و یا بتواند از اقلام فاسد شده بهره‌برداری کند؛ بنابراین در این مقاله سعی شده برای بهبود این شرایط نامطلوب، شبکه زنجیره تامین کارایی طراحی گردد که هدف از آن، کمینه‌سازی هزینه‌ها برای محصولات فاسدشدنی می‌باشد. به دلیل وجود تحقیقات اندک در حوزه زنجیره تامین محصولات زراعی فاسدشدنی، این تحقیق می‌تواند یکی از تحقیقات پایه‌ای این حوزه محسوب شود. همچنین برای بررسی و تحلیل مدل پیشنهادی از یک مطالعه موردی در استان مازندران برای محصولات زراعی استفاده کرده است. ازآنجایی‌که مدل پیشنهادی در ابعاد بزرگ مساله پیچیده و دشوار (NP-*hard*) می‌باشد؛ لذا برای بررسی نتایج، از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده‌شده است. لازم به ذکر است که جهت مقایسه کارایی این الگوریتم‌ها، در ابعاد کوچک مساله از روش شاخه و حد توسط نرم‌افزار لینگو نیز استفاده‌شده است. در انتها نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی بیان‌شده است.

کلمات کلیدی: زنجیره‌ی تامین محصولات فاسد شدنی، الگوریتم‌های فراابتکاری، برنامه‌ریزی خطی.

۱ مقدمه
در جهان امروز یکی از مشکلات اساسی بشر تامین نیازهای غذایی است، به گونه‌ای که امنیت غذایی و افزایش کیفیت به عنوان اهداف مهم دولت‌ها قرار گرفته است. در این میان تولید محصولات کشاورزی مورد توجه خاصی قرارگرفته است [۱]. محصولات زراعی به بخشی از محصولات کشاورزی اطلاق می‌شوند که مدت زمان کاشت تا گل دهی (پایان عمر محصول) در آن‌ها کم‌تر از یک سال است. در واقع، چرخه زندگی آن‌ها کم‌تر

* عهده دار مکاتب
آدرس الکترونیکی: paydar@nit.ac.ir

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

از یک سال طول می‌کشد بخش اعظم تولید محصولات زراعی به مدت چند ماه ذخیره‌سازی می‌شود و فقط بخشی از این تولید پس از برداشت به‌طور مستقیم وارد بازار مصرف می‌شود؛ بنابراین جهت تامین میوه مورداستفاده در اوایل نوروز و همچنین قیمت مناسب به دلیل تقاضای بازار، اکثر تولیدکنندگان خرد و کلان ترجیح می‌دهند این محصولات نسبتاً حساس را چندین ماه انبار نمایند؛ بنابراین وجود مکان‌های مناسب جهت ذخیره حجم بالای محصولات تولیدی و داشتن برنامه لازم و ضروری است. همچنین به دلیل اینکه بیش‌تر انبارهای موجود سنتی بوده؛ لذا هرساله حجم وسیعی از محصولات در این انبارها دچار افت کیفیت می‌شودکه با زحمت و هزینه فراوان افت تولید شده است.

در تعریف زنجیره تامین کشاورزی به تشریح فعالیت‌های تولید تا توزیع که محصولات کشاورزی و باغداری را از مزرعه‌ها بر سر میز غذا می‌آورند، گفته می‌شود. چیزی که زنجیره تامین کشاورزی را از دیگر زنجیره‌های تامین متمایز می‌کند اهمیت عواملی همچون کیفیت و امنیت غذایی و متغیرهای مرتبط با شرایط آب و هوایی است [۱]. به دلیل عدم اطلاع کشاورزان از تقاضای محصولات و نبود برنامه‌ریزی مناسب برای زمان برداشت، سالانه حدود ۳۰ درصد کل محصولات تولیدی فاسد می‌شوند. محصولات زراعی نیز مانند سایر محصولات کشاورزی شامل این خسارات و هزینه‌ها می‌گردد که در این تحقیق سعی شده برای بهبود این شرایط نامطلوب، شبکه زنجیره تامینی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها طراحی گردد. همچنین برای بررسی و تحلیل نتایج حاصل از مدل ریاضی پیشنهادی از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده می‌شود و جهت مقایسه کارایی این الگوریتم‌ها، در ابعاد کوچک مساله از روش شاخه حد توسط نرم‌افزار لینگو نیز استفاده شده است.

در ادامه تحقیق و در بخش دوم، مروری بر ادبیات مدل‌های زنجیره تامین در حوزه محصولات کشاورزی ارایه می‌شود و شکاف تحقیقاتی که مقاله حاضر بدان می‌پردازد، بیان می‌گردد. بخش سوم به تعریف مساله و ارایه مدل ریاضی تخصیص داده شده است. در بخش چهارم به توضیح روش‌های حل برای مدل ارایه شده می‌پردازیم. تحلیل نتایج حاصل از حل مدل مساله موضوع بخش پنجم است. در نهایت، در بخش ششم، نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای تحقیقات آتی ارایه می‌شود.

۲ مروری بر تحقیقات مشابه

زنجیره تامین کشاورزی امروزه به خاطر داشتن ویژگی‌های منحصر به فردی مثل اهمیت کیفیت غذا، اهمیت تامین تقاضا، تغییرات آب‌وهوا و تغییرات قیمت نقش بسیار مهمی در مسایل زنجیره تامین کسب نموده است. در دسته‌بندی این مباحث محصولات از نظر مدت ماندگاری به دو دسته فسادپذیر و فاسد نشدنی (مانند محصولات دانه‌ای و خشکبار) و از نظر چرخه عمر به دو دسته زراعی و باغی تقسیم‌بندی می‌شوند که این پژوهش در حیطه زنجیره تامین محصولات باغی فسادپذیر قرار می‌گیرد.

در سال‌های اخیر اهمیت موضوع میوه‌های تازه، با افزایش تقاضا از مشتریان نگران در رژیم غذایی سالم، به طور قابل توجهی رشد کرده است. این امر باعث شده است تا باکیفیت بودن و در دسترس بودن میوه در تمام ماه‌های سال یک موضوع قابل توجه باشد [۲]. تنها در ده سال گذشته صنعت مواد غذایی کشاورزی به طورکلی و

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

بخش میوه‌های تازه به طور خاص به رسمیت شناخته شده است و در زنجیره تامین به عنوان یک مفهوم کلیدی برای رقابت‌پذیری مورد بحث قرارگرفته است [۱و۳]. آهومادا و ویلالوبوس برای اولین بار یکی از بررسی‌ها را در مورد برنامه‌ریزی مدل در زنجیره تامین کشاورزی انجام دادند. آن‌ها تحقیق خود را از مرور مقالات موجود از سال ۱۹۸۵ با تمرکز بر محصولات مختلف کشاورزی شامل فاسد شدنی و فاسد نشدنی و بیش‌تر سبزیجات ارایه کردند [۴]. همچنین آودسلی و ساندارس نیز تحقیقی با مدل تحقیق در عملیاتی در بخش کشاورزی؛ اما محدود به بررسی در تحولات بریتانیا انجام دادند [۵]. اخیراً، ژانگ و ویلیام یک نسخه جالب از مدل‌های ریاضی در خصوص صنعت محصولاتی شامل میوه‌ها، سبزی‌ها، انگور، گیاهان زینتی، خشکبار درختی، انواع توت‌ها و میوه‌های خشک شده ارایه کردند [۶]. از سوی دیگر، شوکلا و ژارخاریا خلاصه‌ای از ادبیات موجود از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۱ در تولید محصولات تازه مانند میوه‌ها، گل‌ها و سبزی‌ها ارایه کردند [۷]. ویژگی اصلی مقاله آن‌ها تمرکز بر بررسی مقالات مورد مطالعه در مبحث فاسد شدنی، خراب شدنی و تولید محصولات تازه است. آن‌ها همچنین ادبیات مورد مطالعه را برحسب منطقه جغرافیایی و مجله دسته‌بندی کردند.

برای تمرکز بیش‌تری بر روی ویژگی‌های زنجیره تامین، فراهانی و همکاران نمونه‌هایی از تصمیم‌گیری‌های انجام شده در زنجیره‌های تامین عمومی ارایه کردند، درحالی‌که تسولاکیس و همکاران نوع تصمیم‌گیری در زنجیره‌های تامین کشاورزی را ارایه کردند [۱و۸].

بخش میوه‌های تازه موضوعی رقابتی و پویا است و با بسیاری از عدم قطعیت‌های مربوط به زیست‌شناسی میوه، بیماری‌ها، آب‌وهوا، و بازار به‌علاوه پیچیدگی‌های لجستیکی روبرو است. نهال‌های کاشته شده سال‌ها طول می‌کشد تا شروع به تولید میوه کنند؛ پس تصمیم استراتژیک کاشت درخت باید قبل از تقاضا و قیمت فروش شناخته شود[۶]. بنابر این، تصمیمات عملیاتی و تاکتیکی نیاز به دقت بیش‌تری دارند و به تعدیلات تاکتیکی اجازه می‌دهند با سرعت انجام شود. با توجه به وجود طیف گسترده‌ای از ساختارهای زنجیره تامین میوه، ورداو و همکاران یک مدل اولیه با الگوهایی برای طراحی زنجیره تامین میوه‌های تازه و پردازش‌شده با جزئیات کامل ارایه کردند [۹]. نادال رویگ و پلا یک مدل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل برای زنجیره تامین میوه ارایه کردند که در آن یک مرکز لجستیک میوه‌ای توسط مراکز ذخیره‌سازی مختلف برای تقاضا در طول فصل غیر برداشت عرضه شد [۱۰].

اخیراً، یک مدل ریاضی برای زنجیره تامین میوه توسط سوتوسیلوا و همکاران ارایه شده است که مروری از تحقیقات انجام شده تا سال ۲۰۱۶ می‌باشد [۱۱]. به طور مشابه، بورودین و همکاران در تحقیقی با هدف بررسی پژوهش‌های قبلی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در حوزه زنجیره تامین کشاورزی ارایه کردند. همچنین آن‌ها یک نمای کلی از آخرین پیشرفت‌ها و تحولات در استفاده از روش‌های تحقیق در عملیاتی برای رسیدگی به مشکلات عدم قطعیت در زنجیره تامین کشاورزی پیشنهاد دادند [۱۲]. پس از آن‌ها، پارک و همکاران یک ارزیابی از تولید محصولات کشاورزی و مواد غذایی در محدوده ایالات متحده انجام دادند[۱۳]. برای ارایه مرور ادبیاتی وسیع‌تر، مروری خلاصه‌شده از ده مقاله مطرح با شرح مختصری از اهداف هر یک در جدول ۱ ارایه شده است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

جدول ۱. مروری خلاصه از ده مقاله با شرح مختصری از اهداف هر یک.

نویسندگان و سال	شرح تحقیق
بلکبرن و اسکادر ۲۰۰۹ [۱۴]	یک مدل ترکیبی برای طراحی یک زنجیره تامین مواد غذایی فاسدشدنی، بر اساس بهینه‌سازی ارزش تولید نهایی در طول زمان توسعه داده شد.
آرنائوت و ماتوک ۲۰۱۰ [۱۵]	یک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای برنامه‌ریزی عملیات برداشت انگور ارایه‌شده است؛ که با اقتباس از مدل فرر و همکاران (۲۰۰۷) است.
بوهل و همکاران ۲۰۱۰ [۱۶]	یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط تصادفی ارایه کردند که در آن بهره‌وری نیروی کار پارامتر نامشخص است. این بررسی به چگونگی نیروی کار بر کیفیت و مقدار میوه برداشت‌شده می‌پردازد.
اموریم و همکاران ۲۰۱۲ [۱۷]	به تولید و توزیع مواد غذایی فاسدشدنی و بهینه‌سازی یکپارچه تازگی میوه با کمینه‌سازی میزان مواد اولیه ذخیره‌شده پرداختند.
بانیان و همکاران ۲۰۱۲ [۱۸]	روش نا پارامتری برای تحلیل پوششی داده‌ها که برای بررسی کارایی فنی از تولیدکنندگان با توجه به تخصیص منابع مؤثر مانند استفاده از بازده انرژی در توت‌فرنگی گلخانه‌ای مورداستفاده قرار گرفت.
امپادزیدیس و همکاران ۲۰۱۳ [۱۹]	با استفاده از نظریه صف به تجزیه‌وتحلیل عملکرد و پیدا کردن تخصیص منابع بهینه ازجمله ماشین‌آلات و نیروی کار در یک برداشت میوه تازه پرداختند.
ولیچکو ۲۰۱۴ [۲۰]	با مدل برنامه‌ریزی استراتژیک به تجزیه‌وتحلیل تصمیمات سرمایه‌گذاری در صنعت میوه پرداختند.
لامبرت و همکاران ۲۰۱۴ [۲۱]	به زنجیره تامین لیموترش پرداختند که پیش‌بینی کیفیت عملکرد باغ میوه را مد نظر قرار دادند.
گنزالس آرایا و همکاران ۲۰۱۵ [۲۲]	ارایه یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط به حمایت از برنامه‌ریزی تصمیم‌گیری در یک باغ، با هدف به کمینه‌سازی مقدار منابع استفاده شده و حصول اطمینان از تولید میوه با بالاترین کیفیت.
نادال رویگ و پلا آرگونس ۲۰۱۵ [۱۰]	مدل برنامه‌ریزی خطی برای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل روزانه میوه از انبارها به شرکت‌های فرآوری، با هدف کمینه‌سازی هزینه حمل‌ونقل توسعه داده شده است.

با توجه به شکاف تحقیقات موجود، در این تحقیق برطرف کردن برخی از کاستی‌های موجود به گسترش یک مدل ریاضی برنامه ریزی خطی چند دوره‌ای و سه سطحی برای محصولات زراعی فاسد شدنی با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری می‌پردازیم.

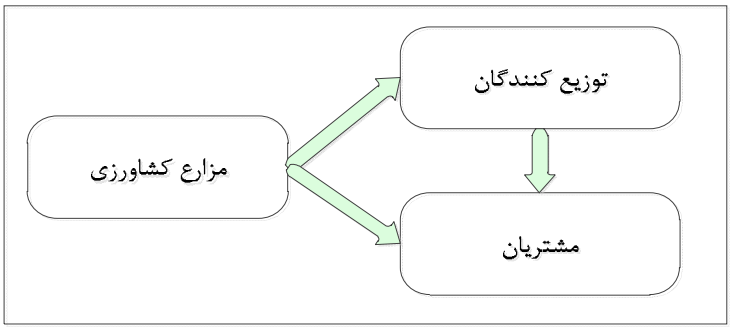
۳ فرمول‌بندی مساله

۳-۱ تعریف مساله

در این تحقیق، یک شبکه زنجیره تامین رو به جلو متشکل از تولیدکنندگان (مزارع زراعی)، مراکز توزیع‌کننده (سورتینگ‌ها)، و مشتریان (بازارهای تره‌بار)، برای کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره تامین محصولات زراعی طراحی گردیده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است، محصولات تولیدی توسط تولیدکنندگان هم به توزیع‌کنندگان و هم به مشتریان ارسال می‌شود. البته لازم به ذکر است دوره برداشت محصولات زراعی سه ماه (مهر، آبان و آذر) فرض شده است؛ لذا ارسال محصولات زراعی از تولیدکنندگان به مشتریان تنها در سه دوره زمانی ابتدایی امکان‌پذیر است. همچنین مشتریان می‌توانند از توزیع‌کنندگان نیز محصول فراوری‌شده دریافت کنند که به دلیل تجهیزات، سورتینگ‌ها و انبارهای نگهداری آن‌ها معمولاً تا هشت ماه (از مهر تا اردیبهشت) می‌توانند این ارسال و نگهداری را انجام دهند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]



شکل ۱. نمای کلی زنجیره تامین محصولات زراعی

برای کارایی بهتر مساله و نزدیک به دنیای واقعی بودن، فرضیاتی مدنظر است که به شرح زیر می‌باشند:

۱. موجودی اولیه تمام مراکز توزیع در دوره اول برابر صفر است.
۲. حداکثر دوره برداشت محصول توسط تولیدکنندگان، سه دوره زمانی ابتدایی می‌باشد. درحالی‌که این زمان برای نگهداری و فروش توسط توزیع‌کنندگان برابر هشت دوره زمانی می‌باشد.
۳. میزان تولید محصولات توسط تولیدکنندگان به‌صورت دقیق مشخص نمی‌باشد و به صورت متغیر تصمیم در نظر گرفته شده که کوچک‌تر از حداکثر ظرفیت تولید مزارع می‌باشد.
۴. اندیس j برای توزیع‌کننده شامل هم نقاط موجود و هم نقاط بالقوه می‌باشد.

۳-۲ مدل مساله

با توجه به تعریفی که از مساله شد و مد نظر قرار دادن مفروضات، مدل ریاضی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره تامین شامل: هزینه حمل‌ونقل، هزینه احداث مکان‌های بالقوه مراکز توزیع، هزینه نگهداری موجودی، و هزینه تولید مزارع و فراوری طراحی می‌گردد. قبل از اینکه به مدل بپردازیم شناخت متغیرها، اندیس‌ها و پارامترها ضروری است.

اندیس‌ها:

مکان‌های تولید (مزارع)	$i = ۱,۲,\ldots,I$
نقاط بالقوه و موجود مکان‌های توزیع (سورتینگ)	$j = ۱,۲,\ldots,J$
مکان‌های مشتری (بازار تره‌بار)	$k = ۱,۲,\ldots,K$
دوره‌های زمانی(ماه)	$t = ۱,۲,\ldots,\ t',\ldots,T$

پارامترها:

هزینه ثابت تأسیس مرکز توزیع j	f_j
هزینه حمل‌ونقل از تولیدکننده i به توزیع‌کننده j	Cx_{ij}
هزینه حمل‌ونقل از تولیدکننده i به مشتری k	Cy_{ik}

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

هزینه حمل‌ونقل از توزیع‌کننده jبه مشتری k	Cq_{jk}
هزینه نگهداری محصول توسط توزیع‌کنندگان در دوره t	Ch_t
هزینه فراوری و بسته‌بندی محصول توسط توزیع‌کنندگان در دوره t	Cp_t
هزینه تولید محصول توسط مزارع	Cp'
تقاضای مشتری k در دوره t	d_{kt}
حداکثر ظرفیت تولیدکننده i در دوره t	λc_{it}
ظرفیت نگهداری توزیع‌کننده jدر دوره t	λh_j
عدد مثبت خیلی بزرگ	M

متغیرهای تصمیم:

مقداری از محصول که از تولیدکننده i به توزیع‌کننده jدر دوره t ارسال می‌شود.	X_{ijt}
مقداری از محصول که تولیدکننده i در دوره t تولید می‌کند.	λ_{it}
مقداری از محصول که از تولیدکننده i به مشتری k در دوره t ارسال می‌شود.	Y_{ikt}
مقداری از محصول که از توزیع‌کننده jبه مشتری k در دوره t ارسال می‌شود.	Q_{jkt}
مقداری از محصول فرآوری شده که در انبار توزیع‌کننده jدر دوره t نگهداری می‌شود.	Ih_{jt}
اگر مرکز توزیع در مکان کاندید jتأسیس شود یک، در غیر این صورت صفر است.	G_j

تابع هدف مساله:

$$Min \quad \sum_{j=1}^{J} f_j \times G_j + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{t'} Cx_{ij} \times X_{ijt} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} Cq_{jk} \times Q_{jkt} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{k}\sum_{t=1}^{t'} Cy_{ik} \times Y_{ikt} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} Ih_{jt} \times Ch_t \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} X_{ijt} \times Cp_t + \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{t'} \lambda_{it} \times Cp' \qquad (1)$$

رابطه (۱) به کمینه‌سازی هزینه‌ها که به صورت مجموع چهار نوع هزینه ارایه شده است، می‌پردازد. اولین قسمت هزینه ثابت تأسیس مراکز توزیع است. لازم به ذکر است که مراکز توزیع هم می‌توانند نقاط موجود باشند و هم نقاط بالقوه که برای تحقق این کار به جای اضافه کردن اندیس، هزینه‌های احداث نقاط موجود را در پارامترها صفر در نظر می‌گیریم. سه قسمت بعدی هزینه‌های حمل‌ونقل و پس از آن‌ها هزینه نگهداری محصولات فراوری‌شده گنجانده شده است. در دو قسمت آخر نیز هزینه‌های عملیاتی، شامل هزینه‌های فراوری و بسته‌بندی و هزینه‌های تولید محصول توسط تولید کنندگان ذکر شده است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

محدودیت‌ها:

$s.t.$

$$\lambda_{it} = \sum_{j=1}^{J} X_{ijt} + \sum_{k=1}^{K} Y_{ikt} \qquad \forall i \in I, \forall t \in t' \qquad (۲)$$

$$\lambda_{it} \le \lambda c_{it} \qquad \forall i \in I, \forall t \in t' \qquad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{I} \sum_{t=1}^{t'} X_{ijt} \le M \times G_j \qquad \forall j \in J \qquad (۴)$$

$$Ih_{j(t-1)} + \sum_{i=1}^{I} X_{ijt} = Ih_{jt} + \sum_{k=1}^{K} Q_{jkt} \qquad \forall j \in J, \forall t \in T \qquad (۵)$$

$$Ih_{jt} \le \lambda h_j \qquad \forall j \in J, \forall t \in T \qquad (۶)$$

$$\sum_{j=1}^{J} Q_{jkt} + \sum_{i=1}^{I} Y_{ikt} \le d_{kt} \qquad \forall k \in K, \forall t \in T \qquad (۷)$$

$$G_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \in J \qquad (۸)$$

$$X_{ijt}, Y_{ikt}, Q_{jkt}, Ih_{jt}, \lambda_{it} \ge 0 \qquad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall t \in T \qquad (۹)$$

در رابطه (۲) محدودیت میزان تولید توسط تولیدکنندگان برابر مقدار انتقال از تولیدکنندگان به توزیع‌کنندگان و مشتریان است. رابطه (۳) بیانگر این است که میزان تولید تولیدکنندگان در هر دوره کم‌تر از ظرفیت تولید آن‌ها می‌باشد. رابطه (۴) محدودیت مرتبط با رابطه (۲) است که به ارسال محصول در صورت احداث مکان بالقوه و یا غیر است. رابطه (۵) به معنی موجودی انبار توزیع‌کنندگان در هر دوره برابراست با موجودی دوره قبل به‌علاوه محصولات جدید وارده به انبار و منهای محصولات خارجه از انبار به خط فراوری و بسته‌بندی می‌باشد. رابطه (۶) بیانگر این است که حداکثر موجودی انبار توزیع‌کنندگان کوچک‌تر مساوی ظرفیت انبار است. رابطه (۷) به معنی آن است که تقاضای بازار در هر دوره بزرگ‌تر مساوی محصولات وارده از تولیدکنندگان بعلاوه توزیع‌کنندگان می‌باشد. روابط (۸) و (۹) تعیین متغیرهای علامت یا بیانگر صفر و یک بودن متغیرها و مثبت بودن آن‌هاست.

٤ روش‌های حل مساله

به خاطر اینکه مدل پیشنهادی برای مسایل متوسط و بزرگ مخصوصاً NP-*hard* می‌باشد و حل با روش‌های دقیق [۲۴,۲۳] زمان‌بر و بلااستفاده می‌باشد، در این تحقیق برای مقایسه این مدل در مسایل با اندازه‌های مختلف از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده می‌کنیم [۲۵].

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

٤-١ روش کدگذاری

در این مطالعه از کدگذاری بر اساس اولویت که به وسیله جن و چنگ (۲۰۰۰) معرفی شده، استفاده شده است. آن‌ها این روش کدگذاری را با موفقیت در مساله کوتاه‌ترین مسیر و مساله برنامه‌ریزی پروژه به کار گرفتند. توسعه این ساختار کدگذاری برای طراحی چند محصولی و چند مرحله‌ای شبکه زنجیره تامین به وسیله آلتیپارماک، جن و لین ارایه شد. در این روش، یک ژن در کروموزوم به وسیله دو عامل توصیف می‌شود: محل ژن در ساختار کروموزوم و ارزشی که یک ژن دارد. در کدگذاری بر اساس اولویت، محل یک ژن برای نشان دادن گره استفاده می‌شود (منبع یا انبار در شبکه حمل‌ونقل) و ارزش برای نشان دادن اولویت گره متناظر در ساخت درخت از بین کاندیدها استفاده می‌شود [۲۶].

نحوه نمایش یکی از موارد مهم است که بر عملکرد الگوریتم فرا ابتکاری تأثیر می‌گذارد. یک راه حل برای مساله با فهرستی از پارامترها نشان داده می‌شود که به آن‌ها کروموزوم می‌گویند. کروموزوم‌ها به‌طور معمول به صورت یک رشته ساده از داده‌ها نمایش داده می‌شوند. شکل کلی کروموزوم مساله برای $i=۳, j=۳ \;\; k=۲, t=۳$ در جدول ۲ نشان داده شده است. ابتدا تمام خانه‌های کروموزوم را با اعداد تصادفی بین $(۱,۰)$ پر می‌کنیم، سپس برای هر بخش برحسب اولویت اعدادی را به آن اختصاص می‌دهیم تا در الگوریتم تخصیص با توجه به اولویت خانه‌ها، عمل تخصیص انجام بگیرد. به‌طور مثال بخش اول کروموزوم برای دوره اول به صورت جدول ۳ خواهد بود. برای بخش دوم کروموزوم و بقیه دوره‌های زمانی نیز به‌صورت مشابه می‌باشد. پس از شناخت کروموزوم نیازمند روند خاصی برای تخصیص محصولات به هر یک از مجموعه‌های توزیع‌کننده و مشتری هستیم. برای بخش اول کروموزوم، الگوریتم تخصیص جدول ۲ استفاده می‌شود که این تخصیص تا زمانی که همه محصولات تولیدکننده به اتمام برسد ادامه می‌یابد. ممکن است تقاضای مشتریان در این مرحله به‌طور کامل پاسخ داده نشود؛ بنابر این مابقی تقاضا را از توزیع‌کننده دریافت خواهند کرد که در الگوریتم تخصیص جدول ۲ آورده شده است که موجودی توزیع‌کنندگان نیز در آن گنجانده شده است.

جدول ۲. نمای کلی از کروموزوم مساله

دوره	بخش ۱								بخش ۲				
	i			$j+k$					j		k		
۱	۰/۰۷۲	۰/۱۳۲	۰/۷۸۶	۰/۹۵۸	۰/۷۹۹	۰/۶۴۱	۰/۳۸۵	۰/۶۵۰	۰/۸۹۷	۰/۶۷۴	۰/۱۱۵	۰/۲۴۳	۰/۱۲۲
۲	۰/۵۲۶	۰/۲۶۸	۰/۲۰۹	۰/۵۶۲	۰/۱۲۳	۰/۵۴۴	۰/۷۳۸	۰/۷۲۶	۰/۷۸۳	۰/۸۶۰	۰/۱۶۸	۰/۴۶۹	۰/۹۸۹
۳	۰/۰۹۹	۰/۳۳۲	۰/۰۳۴	۰/۳۸۳	۰/۳۳۹	۰/۴۳۱	۰/۹۹۷	۰/۳۵۰	۰/۷۹۲	۰/۳۱۳	۰/۸۵۲	۰/۵۱۲	۰/۳۹۱

جدول ۳. بخش اول کروموزوم برای دو حالت اعداد تصادفی و اولویت

بخش ۱ (اعداد تصادفی)	i			$j+k$				
	۰/۰۷۲	۰/۱۳۲	۰/۷۸۶	۰/۹۵۸	۰/۷۹۹	۰/۶۴۱	۰/۳۸۵	۰/۶۵۰
بخش ۱ (اولویت‌بندی)	i			$j+k$				
	۳	۲	۱	۱	۲	۴	۵	۳

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

for $t = 1$ *to* T
Inputs:
I: set of source
J: set of applicant
D_j: *demand of applicant j*
Ca_i: *capacity of source i*
V(I+J): Encode solution of period t
INV_{it-1} *– amount of saved goods in storage i at time t-1*
Outputs:
$Xaloc_{ij}$: *amount of shipment between nodes*
INV_{it}: *amount of remained goods in storage i at time t*
$Ca_i = Ca_i + INV_{it-1}$
while $\sum_j D_j \geq 0$ *or* $\sum_i Ca_i \geq 0$
Step 1: $Xaloc_{ij} = 0 \ \forall i \in I, \forall j \in J$
Step 2:
select value of first column of sub-segment I for i index
select value of first column of sub-segment J for j index
Step 3: $Xaloc_{ij} = min(Ca_i , D_j)$
Update demands and capacities
$Ca_i = Ca_i - Xaloc_{ij}$ $D_j = D_j - Xaloc_{ij}$
Step 4: *if* $Ca_i = 0$ *then* $V(1,I) = 0$
if $D_j = 0$ *then* $V(1,J) = 0$
End while
Step 5: $INV_{it} = Ca_i$
End for

for $t = 1$ *to* T
Inputs:
I: set of source
J: set of applicant
D_j: *demand of applicant j*
Ca_i: *capacity of source i*
V(I+J): Encode solution of period t
Outputs:
$Xaloc_{ij}$: *amount of shipment between nodes*
Y_j: *binary variable shows the opened applicant*
while $\sum_i Ca_i \geq 0$
Step 1: $Xaloc_{ij} = 0 \ \forall i \in I, \forall j \in J$
Step 2:
select value of first column of sub-segment I for i index
select value of first column of sub-segment J for j index
Step 3: $Xaloc_{ij} = min(Ca_i , D_j)$
Update demands and capacities
$Ca_i = Ca_i - Xaloc_{ij}$
$D_j = D_j - Xaloc_{ij}$
Step 4: *if* $Ca_i = 0$ *then* $V(1,I) = 0$
if $D_j = 0$ *then* $V(1,J) = 0$
End while
Step 5: *for* $j = 1$ *to* J
if $\sum_J Xaloc_{ij} > 0$ *then* $Y_j = 1$
End for
End for

شکل ۲. الگوریتم تخصیص بخش اول و دوم کروموزوم

۴-۲ الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات است که توسط کندی و ابرهارت پیشنهاد گردید [۲۷]. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات یک الگوریتم جستجوی اجتماعی است که از روی رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان مدل شده است. در ابتدا این الگوریتم برای کشف الگوهای حاکم بر پرواز همزمان پرندگان و تغییر ناگهانی مسیر آن‌ها و تغییر شکل بهینه‌ی دسته به کار گرفته شد که در آن ذرات در فضای جستجو جاری می‌شود. تغییر مکان ذرات در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانش خودشان و همسایگان‌شان است؛ بنابر این موقعیت دیگر توده ذرات روی چگونگی جستجوی یک ذره اثر می‌گذارد. نتیجه‌ی مدل‌سازی این رفتار اجتماعی، فرایند جستجویی است که ذرات به سمت نواحی موفق میل می‌کنند. ذرات از یکدیگر می‌آموزند و بر مبنای دانش به دست آمده به سمت بهترین همسایگان خود می‌روند. اساس کار این الگوریتم بر این اصل استوار است که در هر لحظه هر ذره مکان خود را در فضای جستجو، با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته است و بهترین مکانی که در کل همسایگی‌اش وجود دارد، تنظیم می‌کند. برای اطلاعات بیش‌تر به منبع [۲۸] مراجعه گردد.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

٤-٣ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک ابزار بهینه‌سازی رایج در محاسبات مهندسی است. الگوریتم ژنتیک توسط جان هلند از دانشگاه میشیگان پیشنهاد شد [۲۹]. الگوریتم ژنتیک نوع خاصی از الگوریتم‌های تکامل است که از تکنیک‌های زیست‌شناسی فراگشتی مانند وراثت و جهش استفاده می‌کند. در واقع الگوریتم‌های ژنتیک از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کنند. مساله‌ای که باید حل شود ورودی است و راه‌حل‌ها طبق یک الگو کدگذاری می‌شوند که تابع برازندگی نام دارد هر راه حل کاندید را ارزیابی می‌کند که اکثر آن‌ها به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. در این الگوریتم دو عملگر جستجو وجود دارد: تقاطع و جهش. در جهش یک همسایگی از آرایه مولد ایجاد می‌شود؛ و در تقاطع دو جواب به عنوان والد انتخاب می‌شوند و پس از ترکیب با یکدیگر دو فرزند تشکیل شده که به این ترتیب الگوریتم اقدام به جستجوی فضای شدنی جواب می‌کند. این الگوریتم دو فاز تمرکز و تنوع را در فرا ابتکاری به نحوی کورکورانه در فضای جواب انجام می‌دهد . برای اطلاعات بیش‌تر به منبع [۳۰] مراجعه گردد.

٤-٤ الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

یکی از موفق‌ترین الگوریتم‌های تک جواب را می‌توان الگوریتم شبیه‌سازی تبرید نامید. این الگوریتم که از منطقی ریاضی و در عین حال ساده برای جستجو استفاده می‌کند. کارایی این الگوریتم در انواع مسایل مختلف تحقیق در عملیات و علوم مهندسی بارها مورد تمجید قرارگرفته است. این الگوریتم از منطق سرد شدن فلز متبلور شده در درجه حرارت بالا استفاده می‌کند. این الگوریتم اولین بار توسط کیرکپاتریک و همکاران معرفی شد [۳۱]. این الگوریتم با یک جواب تصادفی با درجه حرارت بالا شروع به جست‌وجو می‌کند. در هر مرحله از الگوریتم برای جواب مرحله قبل یک همسایگی ایجاد می‌شود. اگر جواب ذکرشده بهبود یافت جواب جدید پذیرفته می‌شود. در غیر این صورت با احتمالی جواب ذکرشده را می‌پذیریم؛ که این احتمال با توجه به درجه حرارت فعلی و با استفاده از تابع بولتزمن کنترل می‌شود. این منطق کمک می‌کند که الگوریتم بتواند جواب‌های بد را در ابتدا با احتمال زیاد و سپس در ادامه با احتمال کم‌تر پذیرش کند و از بهینه‌ی محلی فرار کند [۳۲].

٤-٥ تنظیم پارامترها

در این بخش به تنظیم پارامترهای الگوریتم‌های فرا ابتکاری و همچنین پارامترهای مدل مساله می‌پردازیم. برای بررسی کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی مدل را در چند مساله با ابعاد متفاوت مقایسه خواهیم کرد؛ که جدول ۴ نشان دهنده ابعاد متفاوت مساله می‌باشد. جدول ۵ تنظیم پارامترهای دیگر مدل را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

جدول ٤. ابعاد مختلف مساله

K	J	I	شماره زیر مساله
۳	۴	۳	۱
۵	۷	۵	۲
۷	۱۰	۷	۳
۹	۱۳	۹	۴
۱۵	۲۲	۱۵	۵
۱۷	۲۵	۱۷	۶
۱۹	۲۸	۱۹	۷
۲۵	۳۷	۲۵	۸

جدول ۵. تنظیم پارامترهای مساله

پارامتر	مقدار	واحد
T	۸	دوره (ماه)
t'	۳	دوره (ماه)
λc_{it}	Uniform ~ [۳۰, ۱۰۰]	تن
f_j	Uniform ~ [۴۰۰۰۰۰, ۶۵۰۰۰۰]	هزارتومان
ch_t	[۲۰۳, ۲۰۳, ۲۱۰, ۲۲۰, ۲۲۰, ۲۳۱, ۲۳۸, ۲۵۲]	هزارتومان/ تن
cp_t	[۳۰۱, ۳۱۱/۵, ۳۱۱/۵, ۳۱۸/۵, ۳۲۹, ۳۲۹, ۳۵۰, ۳۶۰/۵]	هزارتومان/ تن
cp'	Uniform ~ [۵۰۰, ۶۰۲]	هزارتومان/ تن
d_{kt}	Uniform ~ [۳, ۱۰]	تن
λh_j	۳۰ یا ۲۰ یا ۱۰	تن

علاوه بر پارامترهای یادشده، پارامترهای مهمی ازجمله هزینه حمل‌ونقل وجود دارند که برای شهرهای استان مازندران این مقادیر را با نرخ سال ۱۳۹۵ محاسبه کرده و در جدول ۶ به نمایش گذاشته شده است.

لازم به ذکر است که قیمت‌ها برای نمایش اعداد در ارقام کم‌تر برحسب هزار تومان قید گردیده‌اند. همچنین دیگر پارامترهای جدول ۵ نیز از طریق مصاحبه از تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان برای محصولات زراعی در استان مازندران جمع‌آوری شده است. برای تنظیم پارامترهای الگوریتم‌ها از روش تاگوچی جهت انتخاب بهترین مقدار برای هر پارامتر برای هر الگوریتم استفاده می‌کنیم. این روش توسط تاگوچی به جای استفاده از انجام همه آزمایش‌ها برای انتخاب بهترین مقدار برای هر پارامتر طراحی شد [۳۳]. ازآنجایی‌که تابع هدف مساله کمینه‌سازی است، از رابطه ۱۰ (هر چه کم‌تر، بهتر) از میان روابط پیشنهادی تاگوچی استفاده می‌کنیم.

$$S/N = -10\log\left(\frac{S\left(Y^{2}\right)}{n}\right) \qquad (10)$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

جدول ٦. هزینه حمل‌ونقل در بین شهرهای استان مازندران برحسب هزار تومان

	بهشهر	نکا	ساری	جویبار	قائم‌شهر	پل سفید	سوادکوه	بابلسر	بابل	محمودآباد	آمل	نور	نوشهر	چالوس	تنکابن	رامسر
بهشهر	۱۲/۹۵	۱۷/۱۵	۳۱/۵	۴۳/۷۵	۴۴/۸	۶۷/۹	۷۲/۸	۶۲/۳	۵۳/۲	۷۱/۷۵	۶۷/۲	۷۴/۵۵	۱۰۶/۴	۱۱۹/۳۵	۱۵۲/۹۵	۱۶۶/۹۵
نکا	۱۷/۱۵	۱۲/۹۵	۱۸/۵۵	۳۰/۴۵	۳۱/۵	۶۰/۵۵	۶۰/۵۵	۱۰۵/۳۵	۳۹/۹	۵۹/۵	۵۹/۸۵	۶۲/۳	۸۳/۳	۱۰۷/۴۵	۱۴۱/۰۵	۱۵۴/۷
ساری	۳۱/۵	۱۸/۵۵	۱۲/۹۵	۱۶/۱	۱۷/۱۵	۴۵/۸۵	۴۸/۳	۳۹/۹	۲۸	۳۳/۲۵	۴۵/۵	۶۰/۲	۴۱/۳	۹۴/۱۵	۱۲۷/۷۵	۱۳۹/۳
جویبار	۴۳/۷۵	۳۰/۴۵	۱۶/۱	۱۲/۹۵	۲۴/۸۵	۴۵/۸۵	۵۰/۷۵	۲۴/۵	۲۹/۷۵	۳۴/۶۵	۴۷/۲۵	۶۴/۰۵	۴۵/۸۵	۸۶/۴۵	۱۲۰/۰۵	۱۴۳/۱۵
قائم‌شهر	۴۴/۸	۳۱/۵	۱۷/۱۵	۲۴/۸۵	۱۲/۹۵	۳۲/۹	۴۳/۰۵	۲۸	۲۸/۷	۳۳/۹۵	۴۴/۸	۶۰/۵۵	۴۴/۱	۸۲/۲۵	۱۱۶/۹	۱۴۱/۴
پل سفید	۶۷/۹	۶۰/۵۵	۴۵/۸۵	۴۵/۸۵	۳۲/۹	۱۲/۹۵	۱۵/۴	۵۸/۱	۴۵/۸۵	۶۳/۳۵	۶۳/۳۵	۶۶/۸۵	۶۵/۴۵	۱۱۰/۶	۱۴۴/۲	۱۵۷/۸۵
سوادکوه	۷۲/۸	۶۰/۵۵	۴۸/۳	۵۰/۷۵	۴۳/۰۵	۱۵/۴	۱۲/۹۵	۶۲/۳	۵۷/۴	۷۰/۷	۶۸/۹۵	۷۷	۷۵/۹۵	۱۱۸/۳	۱۴۸/۷۵	۱۶۲/۴
بابلسر	۶۲/۳	۱۰۵/۳۵	۳۹/۹	۲۴/۵	۲۸	۵۸/۱	۶۲/۳	۱۲/۹۵	۱۶/۱	۱۳/۶۵	۲۷/۳	۲۰/۶۵	۱۹/۶	۶۷/۹	۱۰۱/۵	۱۱۵/۱۵
بابل	۵۳/۲	۳۹/۹	۲۸	۲۹/۷۵	۲۸/۷	۴۵/۸۵	۵۷/۴	۱۶/۱	۱۲/۹۵	۲۵/۵۵	۲۱/۳۵	۳۱/۱۵	۳۱/۵	۷۲/۱	۱۰۵/۳۵	۱۱۹/۳۵
محمودآباد	۷۱/۷۵	۵۹/۵	۳۳/۲۵	۳۴/۶۵	۳۳/۹۵	۶۳/۳۵	۷۰/۷	۱۳/۶۵	۲۵/۵۵	۱۲/۹۵	۱۰/۱۵	۱۳/۶۵	۱۴/۳۵	۶۳/۳۵	۹۵/۹	۹۸/۷
آمل	۶۷/۲	۵۹/۸۵	۴۵/۵	۴۷/۲۵	۴۴/۸	۶۳/۳۵	۶۸/۹۵	۲۷/۳	۲۱/۳۵	۱۰/۱۵	۱۲/۹۵	۱۹/۶	۲۰/۳	۶۰/۹	۸۹/۹۵	۱۰۳/۶
نور	۷۴/۵۵	۶۲/۳	۶۰/۲	۶۴/۰۵	۶۰/۵۵	۶۶/۸۵	۷۷	۲۰/۶۵	۳۱/۱۵	۱۳/۶۵	۱۹/۶	۱۲/۹۵	۱۱/۲	۵۳/۲	۶۴/۰۵	۹۷/۶۵
نوشهر	۱۰۶/۴	۸۳/۳	۴۱/۳	۴۵/۸۵	۴۴/۱	۶۵/۴۵	۷۵/۹۵	۱۹/۶	۳۱/۵	۱۴/۳۵	۲۰/۳	۱۱/۲	۱۲/۹۵	۴۶/۵۵	۷۰/۷	۱۰۱/۸۵
چالوس	۱۱۹/۳۵	۱۰۷/۴۵	۹۴/۱۵	۸۶/۴۵	۸۲/۲۵	۱۱۰/۶	۱۱۸/۳	۶۷/۹	۷۲/۱	۶۳/۳۵	۶۰/۹	۵۳/۲	۴۶/۵۵	۱۲/۹۵	۳۸/۱۵	۵۳/۲
تنکابن	۱۵۲/۹۵	۱۴۱/۰۵	۱۲۷/۷۵	۱۲۰/۰۵	۱۱۶/۹	۱۴۴/۲	۱۴۸/۷۵	۱۰۱/۵	۱۰۵/۳۵	۹۵/۹	۸۹/۹۵	۶۴/۰۵	۷۰/۷	۳۸/۱۵	۱۲/۹۵	۱۸/۹
رامسر	۱۶۶/۹۵	۱۵۴/۷	۱۳۹/۳	۱۴۳/۱۵	۱۴۱/۴	۱۵۷/۸۵	۱۶۲/۴	۱۱۵/۱۵	۱۱۹/۳۵	۹۸/۷	۱۰۳/۶	۹۷/۶۵	۱۰۱/۸۵	۵۳/۲	۱۸/۹	۱۲/۹۵

جدول ۷. مقادیر مختلف پارامترهای الگوریتم‌های فرا ابتکاری

الگوریتم‌ها	پارامترها	سطوح مختلف پارامترها		
		سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
GA	Pc	۰/۷	۰/۸	۰/۹
	Pm	۰/۰۵	۰/۱	۰ /۱۵
	N-pop	۵۰	۱۰۰	۱۵۰
	Max-iteration	$۳\times(i+j+k)$	$۶\times(i+j+k)$	$۹\times(i+j+k)$
SA	T	۳۰	۴۰	۵۰
	α	۰/۹۹	۰/۹	۰/۸۸
	Max-iteration	$۵\times(i+j+k)$	$۱۰\times(i+j+k)$	$۱۵\times(i+j+k)$
PSO	C_1, C_2	۰/۵	۱	۲
	W	۰/۵	۱	۱/۵
	W_{damp}	۰/۸	۰/۹	۰/۹۹
	N-pop	۵۰	۱۰۰	۱۵۰
	Max-iteration	$۳\times(i+j+k)$	$۶\times(i+j+k)$	$۹\times(i+j+k)$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

که ابتدا به تشریح پارامترهای هر الگوریتم و مقادیر پیشنهادی می‌پردازیم. این مقادیر به صورت جدول ۷ ارایه شده است و پس از انجام آزمایش‌ها مذکور برای هر الگوریتم نتایج حاصله به صورت جداول ۸ تا ۱۰ خواهد بود. پس از رسم نمودارهای سیگنال- نویز توسط نرم‌افزار Minitab شکل ۳ پدید می‌آیند که هر چه مقدار پارامتری در شکل بیش‌تر باشد آن مقدار، مقدار منتخب آن پارامتر خواهد بود.

جدول ۸. جدول $L^{۹}$ تاگوچی و نتایج حاصله برای الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

شماره آزمایش	$T_{\circ}$	α	Max-iteration	SA
۱	۱	۱	۱	۳۱۶۶۶۲/۶
۲	۱	۲	۲	۲۴۷۱۴۷/۶
۳	۱	۳	۳	۲۷۹۸۹۵/۸
۴	۲	۱	۲	۲۷۴۷۷۵/۳
۵	۲	۲	۳	۲۴۵۳۷۶/۱
۶	۲	۳	۱	۲۷۱۲۳۲/۶
۷	۳	۱	۳	۱۸۵۷۸۳/۶
۸	۳	۲	۱	۲۷۸۰۸۲/۳
۹	۳	۳	۲	۲۷۶۰۰۹/۱

جدول ۹. جدول $L^{۹}$ تاگوچی و نتایج حاصله برای الگوریتم ژنتیک

شماره آزمایش	Pc	Pm	N-pop	Max-iteration	GA
۱	۱	۱	۱	۱	۱۹۱۹۵۰/۰۸
۲	۱	۲	۲	۲	۱۶۳۴۹۰/۹۹
۳	۱	۳	۳	۳	۱۴۵۴۸۶/۲۲
۴	۲	۱	۲	۳	۱۶۱۸۹۱/۸۷
۵	۲	۲	۳	۱	۱۷۶۳۰۷/۸۵
۶	۲	۳	۱	۲	۱۱۰۲۷۳/۳۱
۷	۳	۱	۳	۲	۱۵۵۸۷۶/۸
۸	۳	۲	۱	۳	۱۴۱۹۱۰/۶
۹	۳	۳	۲	۱	۱۳۶۶۳۵/۷

با توجه به شکل ۳ مشخص می‌شود که بهترین مقدار برای پارامترهای هر الگوریتم به‌صورت زیر می‌باشد:

۱. برای الگوریتم ژنتیک: $Pc = ۰/۹,\ Pm = ۰/۱۵,\ Npop = ۵۰,\ maxiter = ۶\times(i+j+k)$ ؛
۲. برای الگوریتم شبیه‌سازی تبرید: $T = ۵۰,\ \alpha = ۰/۹۹,\ maxiter = ۱۵\times(i+j+k)$ ؛
۳. برای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات: $W = ۱,\ Npop = ۱۰۰,\ maxiter = ۹\times(i+j+k)$ و $C_۱ = C_۲ = ۲,\ w_{damp} = ۰/۹۹$ می‌باشند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

جدول ۱۰. جدول $L^{۲۷}$ تاگوچی و نتایج حاصله برای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

شماره آزمایش	C_i	W	W_{damp}	N-pop	Max-iteration	PSO
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۶۰۷۶۶/۴۸
۲	۱	۱	۱	۱	۲	۱۲۵۸۵۲/۰۲
۳	۱	۱	۱	۱	۳	۱۳۲۹۱۸/۹۴
۴	۱	۲	۲	۲	۱	۱۲۹۶۲۰/۷۵
۵	۱	۲	۲	۲	۲	۱۳۹۰۲۹/۲۸
۶	۱	۲	۲	۲	۳	۱۲۲۶۶۲/۷۵
۷	۱	۳	۳	۳	۱	۱۲۲۸۵۰/۳۲
۸	۱	۳	۳	۳	۲	۱۱۸۲۲۵/۱
۹	۱	۳	۳	۳	۳	۱۱۰۶۰۹/۲۱
۱۰	۲	۱	۲	۳	۱	۱۵۸۱۱۳/۰۶
۱۱	۲	۱	۲	۳	۲	۱۳۷۸۶۸/۴۳
۱۲	۲	۱	۲	۳	۳	۱۲۸۲۶۰/۹۷
۱۳	۲	۲	۳	۱	۱	۱۷۰۰۶۹/۱۳
۱۴	۲	۲	۳	۱	۲	۱۵۴۱۱۷/۷۴
۱۵	۲	۲	۳	۱	۳	۱۲۲۴۴۲/۸۸
۱۶	۲	۳	۱	۲	۱	۱۴۱۱۱۰/۳۸
۱۷	۲	۳	۱	۲	۲	۸۵۸۵۳/۱۸
۱۸	۲	۳	۱	۲	۳	۸۶۹۴۸/۷۸۵
۱۹	۳	۱	۳	۲	۱	۱۱۱۱۹۰/۲۱
۲۰	۳	۱	۳	۲	۲	۹۵۸۳۵/۴۹۵
۲۱	۳	۱	۳	۲	۳	۹۵۱۷۰/۹۵
۲۲	۳	۲	۱	۳	۱	۱۲۷۱۸۸/۸۱
۲۳	۳	۲	۱	۳	۲	۱۴۲۶۶۹/۸
۲۴	۳	۲	۱	۳	۳	۱۳۱۵۵۰/۴۸
۲۵	۳	۳	۲	۱	۱	۹۸۳۱۷/۴۵
۲۶	۳	۳	۲	۱	۲	۱۱۹۴۹۲/۳۸
۲۷	۳	۳	۲	۱	۳	۹۹۸۸۰/۵۸۵

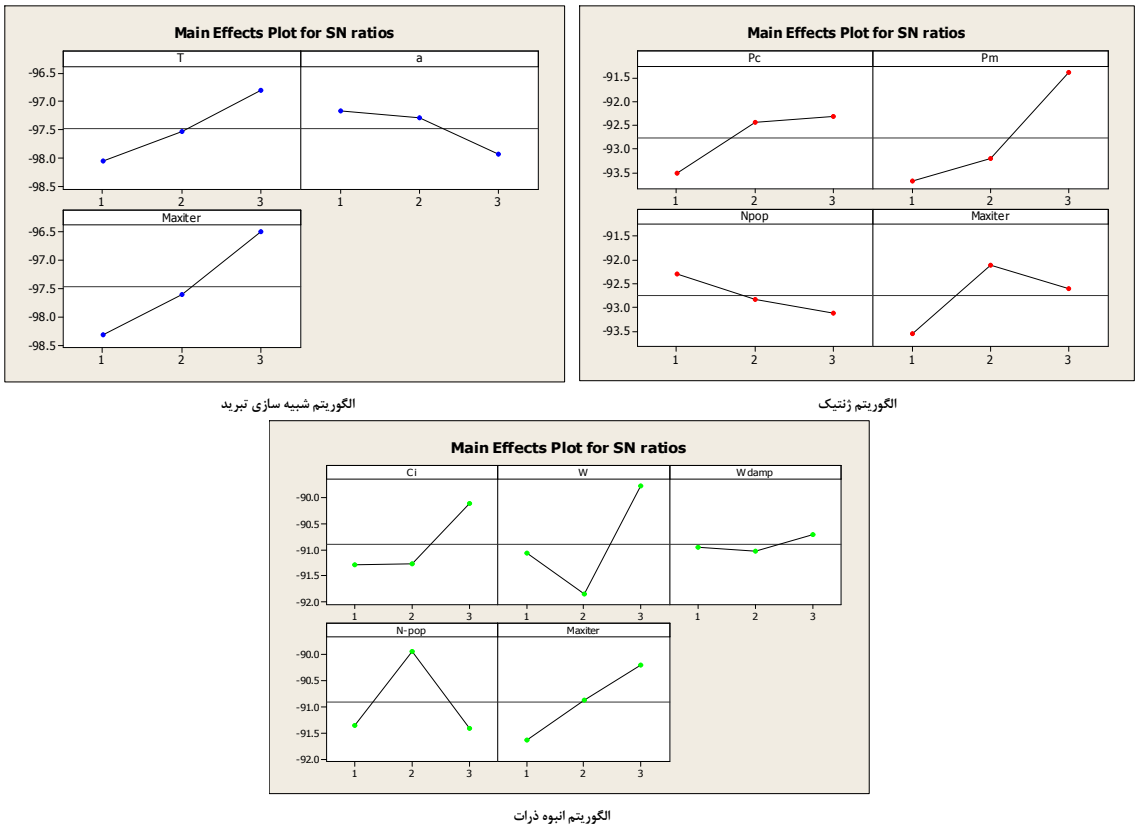
۵ مثال عددی و نتایج محاسباتی

پس از تنظیم پارامترها نوبت آن است که به مقایسه مساله مذکور در ابعاد مختلف به وسیله روش شاخه و حد توسط نرم‌افزار لینگو و الگوریتم‌های فرا ابتکاری منتخب بپردازیم که این مقایسه در دو بعد زمان اجرا (ثانیه) و میزان تابع هدف (هزار تومان) انجام می‌شود که هر چه میزان این دو بعد کم‌تر باشد، مطلوب‌تر است. ازآنجایی‌که استفاده از لینگو در مسایل کوچک برای یافتن جواب بهینه کل دارای زمان اجرای بالایی بود، در زیرمسایل پنج به بعد پس از ۲ ساعت اجرا با توقف کردن نرم افزار جواب حاصله را به عنوان بهینه محلی می پذیریم. نتایج انجام این آزمایش‌ها در جدول ۱۱ ارایه شده است. همچنین برای وضوح بهتر و مقایسات راحت‌تر

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

الگوریتم‌ها نسبت به دو بعد مذکور از نمودارهای همگرایی برای میزان تابع هدف و از نمودارهای میله‌ای و خطی برای بعد زمانی استفاده شده است که در شکل‌های ۴ و ۵ ارایه گردیده است.



شکل ۳. نمودار سیگنال- نویز برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌ها

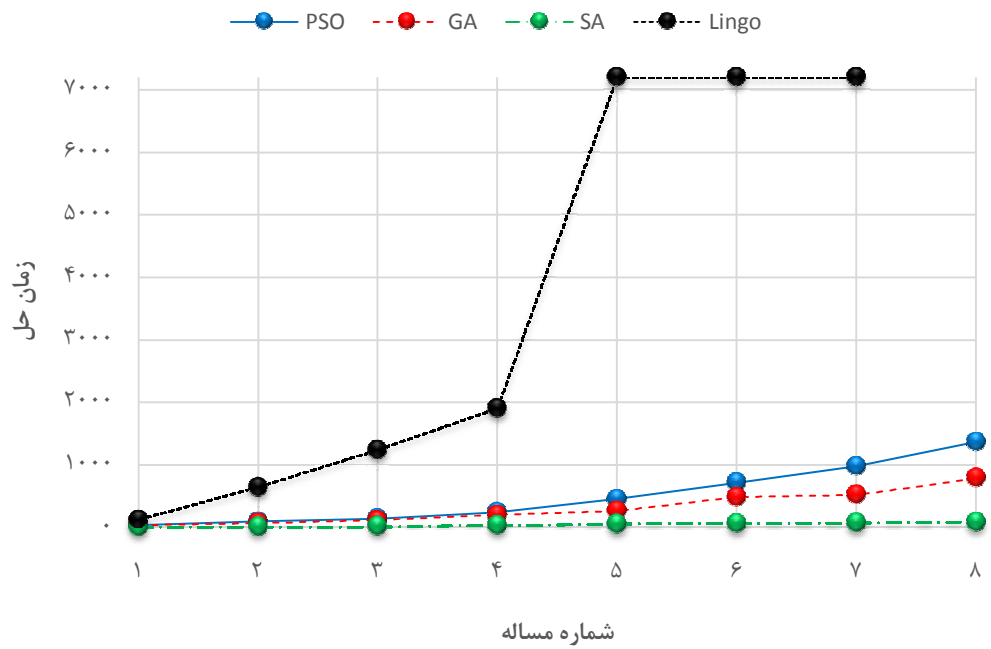
جدول ۱۱. نتایج حاصله از اجرای الگوریتم‌ها برای مساله در ابعاد مختلف

شماره زیر مساله	Lingo		GA		SA		PSO	
	زمان	تابع هدف	زمان	تابع هدف	زمان	تابع هدف	زمان	تابع هدف
۱	۱۲۳	۸۱۵۰۳^{G}	۳۵	۱۳۰۶۸۹	۱۱	۲۱۲۵۶۴	۳۹	۸۹۱۵۴
۲	۶۴۹	۴۲۱۳۲۴^{G}	۷۱	۵۳۹۳۳۴	۱۷	۵۵۸۷۴۳	۹۷	۴۲۵۴۵۸
۳	۱۲۴۳	۶۷۶۴۸۹^{G}	۱۱۸	۷۹۴۱۳۳	۲۶	۱۰۰۰۶۸۴	۱۴۵	۶۷۶۴۸۹
۴	۱۹۰۴	۱۱۳۲۶۲۳^{G}	۱۹۷	۱۲۵۸۷۶۸	۳۷	۱۵۰۶۷۳۳	۲۴۷	۱۱۳۲۶۲۳
۵	۷۲۰۰	۲۱۸۹۳۲۱^{L}	۲۶۶	۲۳۲۴۰۸۹	۵۰	۲۴۲۳۶۵۷	۴۵۴	۲۱۸۵۱۰۴
۶	۷۲۰۰	۲۸۷۵۲۳۴^{L}	۴۸۷	۲۷۵۷۷۴۳	۶۱	۳۰۷۱۹۲۳	۷۱۴	۲۶۴۴۰۵۸
۷	۷۲۰۰	۳۳۷۵۱۲۳^{L}	۵۲۱	۳۱۲۰۰۴۹	۷۳	۳۴۳۴۸۶۹	۹۷۹	۲۸۳۱۵۲۹
۸	–	–	۷۸۹	۴۳۱۹۰۹۹	۸۶	۴۷۰۱۶۳۹	۱۳۶۶	۴۰۴۵۲۵۷

*G= Global optimum *L=Local optimum

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]



شکل ٤. نمودار مقایسه‌ای الگوریتم‌ها در بعد زمان

همان‌طور که مشخص است، کم‌ترین زمان در همه زیر مساله‌ها مختص به SA به دلیل جمعیت محور نبودن می‌باشد. پس از آن GA به دلیل داشتن *Npop* و *maxiter* کم‌تر نسبت به PSO در فرایند تنظیم پارامترها دارای زمان‌های اجرای کم‌تری می‌باشد. نکته‌ای که حائز اهمیت است جواب‌های بهتر به‌دست‌آمده از PSO در بعد تابع هدف می‌باشد که باعث می‌شود از عملکرد نسبتاً ضعیف آن در بعد زمان چشم‌پوشی کرد. همان‌طور که در اشکال نمایان است لینگو دارای زمان حل بالایی برای مسایل کوچک است، پس در مسایل بزرگ‌تر اجرای نرم افزار در ۲ ساعت (۷۲۰۰ ثانیه) متوقف گردیده و جواب بهینه محلی حاصل می‌شود. همان‌طور که از نمودارهای همگرایی شکل ۵ مشخص است، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در همگی زیر مساله‌ها دارای جواب بهتری در بعد تابع هدف (هزینه‌های زنجیره) می‌باشد که این یکی از دلایل کارایی این الگوریتم مخصوصاً در ابعاد بزرگ مسایل می‌باشد. نتایج به دست‌آمده از نرم‌افزار لینگو در دو زیر مساله اول از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات بهتر می‌باشد و در زیر مساله سوم و چهارم برابر با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات می‌باشد. و از آنجایی که اجرای نرم افزار در ابعاد ۵ به بعد مساله متوقف شده است جواب‌های لینگو کمی از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات فاصله گرفته است که در جدول ۱۱ مشهود می‌باشد.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

شکل ۵. نمودار مقایسه‌ای الگوریتم‌ها در بعد تابع هدف.

٦ نتیجه و جمع بندی

در این پژوهش یک مدل ریاضی جدید برای زنجیره تامین محصولات زراعی فاسدشدنی باهدف کمینه‌سازی هزینه‌ها ارایه شد. ازآنجایی که این مساله مخصوصاً در زیر مسایل با ابعاد متوسط تا بزرگ جز مسایل سخت (NP-

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

hard) محسوب می‌شود، برای تحلیل نتایج، از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده شد. بدین منظور الگوریتم جمعیت محور و کارای بهینه‌سازی ازدحام ذرات، الگوریتم جمعیت محور ژنتیک به عنوان الگوریتم‌های شناخته شده و متداول و همچنین الگوریتم شبیه‌سازی تبرید به‌عنوان یک الگوریتم فرا ابتکاری غیر جمعیت محور و کارا انتخاب شدند. همچنین برای اعتبارسنجی جواب‌های حاصل از الگوریتم‌های فرا ابتکاری، روش دقیق شاخه و حد نیز توسط نرم افزار لینگو به کار گرفته شده است؛ لذا برای دست‌یابی به جواب‌های بهتر، ابتدا تنظیم پارامترها به وسیله روش تاگوچی انجام شد و پس ازآن با بهترین مقادیر منتخب برای هر پارامتر به بررسی زیر مسایل این تحقیق پرداخته شد که در نهایت پس از استخراج نتایج دریافتیم که الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در همگی زیر مسایل از دو الگوریتم دیگر به جواب‌های بهتری دست یافت و پس از آن الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید به ترتیب در جایگاه‌های بعدی قرار می‌گیرند؛ اما در بعد زمان اجرا، بهترین نتایج به الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تعلق دارد که دلیل اصلی آن غیر جمعیت محور بودن این الگوریتم می‌باشد که زمان حل را برای این الگوریتم به‌شدت کاهش می‌دهد. پس از آن الگوریتم ژنتیک به دلیل داشتن مقادیر *Npop* و *maxiter* کم‌تر نسبت به الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در فرایند تنظیم پارامترها دارای زمان‌های اجرای کم‌تری می‌باشد. نکته‌ای که حائز اهمیت است جواب‌های بهتر به‌دست‌آمده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در بعد تابع هدف می‌باشد که باعث می‌شود از عملکرد نسبتاً ضعیف آن در بعد زمان چشم‌پوشی کرد، زیرا با صرف زمان کمی بیش‌تر برای اجرای آزمایش‌ها به جواب‌های باکیفیت‌تر و بهتری در بعد تابع هدف که همان هزینه‌های کل زنجیره تامین می‌باشد، دست‌یافت. در پایان، برای تحقیقات آتی نکات زیر پیشنهاد می‌گردند:

۱. استفاده از دیگر روش‌های حل مسایل سخت مانند شبیه‌سازی و غیره.
۲. حل این مساله با دیگر الگوریتم‌های فرا ابتکاری ازجمله الگوریتم‌های: الکترومغناطیس، زنبورعسل، کشتل، جست‌وجوی فاخته، جست‌وجوی ممنوعه و غیره برای انجام مقایسات بیش‌تر.
۳. استفاده از این مدل ریاضی برای حوزه‌های مشابه دیگر مانند زنجیره تامین سبزیجات.
۴. بهبود مدل پیشنهادی با انجام روش‌هایی همچون فازی سازی و چند هدفه کردن.

منابع

[۲۸] ناجی عظیمی، ز.، قربان پور، ا.، (۱۳۹۴). به کارگیری الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای خوشه بندی مشتریان. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن (ریاضی کاربردی) - دانشگاه آزاد لاهیجان، ۱۲(۱)، ۳۳-۴۷.

[۳۰] حسینی، ز.، اسمعیلی، م.، قاسمی‌یقین، ر.، (۱۳۹۲). ارایه مدل بهینه‌سازی چند هدفه برای تصمیمات توام موجودی و قیمت‌گذاری درحالت زمان‌های تدارک احتمالی (نمایی و یکنواخت) با استفاده از الگوریتم ژنتیک. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن (ریاضی کاربردی)- دانشگاه آزاد لاهیجان، ۱۱(۱).

[۳۲] فریدونی، س.، مرادیان بروجنی، پ.، (۱۳۹۰). الگوریتم شبیه سازی آنیلینگ برای بودجه بندی سرمایه ای فازی براساس برنامه ریزی شانس و تحلیل حساسیت پارامترهای آن. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن (ریاضی کاربردی) - دانشگاه آزاد لاهیجان، ۸(۱).

[1] Tsolakis, N. K. , Keramydas, C. A., Toka, A. K. , Aidonis, D. A., Iakovou, E. T., (2014). Agrifood supply chain management: A comprehensive hierarchical decision-making framework and a critical

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

taxonomy. Biosystems Engineering, 120, 47–64.
[2] Reynolds, C., Buckley, J., Weinstein, P., Boland, J., (2014). Are the Dietary Guidelines for Meat, Fat, Fruit and Vegetable Consumption Appropriate for Environmental Sustainability? A Review of the Literature. Nutrients, 6(6), 2251–2265.
[3] Lucas, M. T., Chhajed, D., (2004). Applications of location analysis in agriculture: a survey. Journal of the Operational Research Society, 55(6), 561–578.
[4] Ahumada, O., Villalobos, J. R., (2009). Application of planning models in the agri-food supply chain: A review. European Journal of Operational Research, 196(1), 1–20.
[5] Audsley, E., Sandars, D. L., (2009). A review of the practice and achievements from 50 years of applying OR to agricultural systems in Britain. OR Insight, 22(1), 2–18.
[6] Zhang, W., Wilhelm, W. E., (2011). OR/MS decision support models for the specialty crops industry: a literature review. Annals of Operations Research, 190(1), 131–148.
[7] Shukla, M., Jharkharia, S., (2013). Agri-fresh produce supply chain management: a state-of-the-art literature review. International Journal of Operations & Production Management, 33(2), 114–158.
[8] Farahani, R. Z., Rezapour, S., Drezner, T., Fallah, S., (2014). Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications. Omega, 45, 92–118.
[9] Verdouw, C. N., Beulens, A. J. M., Trienekens, J. H., Wolfert, J., (2010). Process modelling in demand-driven supply chains: A reference model for the fruit industry. Computers and Electronics in Agriculture, 73(2), 174–187.
[10] Nadal-Roig, E., Plà-Aragonés, L. M., (2015). Optimal Transport Planning for the Supply to a Fruit Logistic Centre. In International Series in Operations Research and Management Science, 163–177.
[11] Soto-Silva, W. E., Nadal-Roig, E., González-Araya, M. C., Pla-Aragones, L. M., (2016). Operational research models applied to the fresh fruit supply chain. European Journal of Operational Research, 251(2), 345–355.
[12] Borodin, V., Bourtembourg, J., Hnaien, F., Labadie, N., (2016). Handling uncertainty in agricultural supply chain management: A state of the art. European Journal of Operational Research, 254(2), 348–359.
[13] Park, Y. S., Egilmez, G., Kucukvar, M., (2016). Emergy and end-point impact assessment of agricultural and food production in the United States: A supply chain-linked Ecologically-based Life Cycle Assessment. Ecological Indicators, 62, 117–137.
[14] Blackburn, J., Scudder, G., (2009). Supply Chain Strategies for Perishable Products: The Case of fresh Produce. Production and Operations Managment, 18(2), 129–137.
[15] 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(5), 595–605.
[16] Bohle, C., Maturana, S., Vera, J., (2010). A robust optimization approach to wine grape harvesting scheduling. European Journal of Operational Research, 200(1), 245–252.
[17] Amorim, P., Günther, H.-O., Almada-Lobo, B., (2012). Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products. International Journal of Production Economics, 138(1), 89–101.
[18] Banaeian, N., Omid, M., Ahmadi, H., (2012). Greenhouse strawberry production in Iran, efficient or inefficient in energy. Energy Efficiency, 5(2), 201–209.
[19] Ampatzidis, Y. G., Vougioukas, S. G., Whiting, M. D., Zhang, Q., (2013). Applying the mechine repair model to improve efficiency of harvesting fruit. Biosystems Engineering, 120, 25–33.
[20] Velychko, O., (2014). Integrated Modeling of Solutions in the System of Distributing Logistics of a Fruit and Vegetable Cooperative. Business: Theory and Practice, 15(4), 362–370.
[21] Lambert, G. F., Aguilar Lasserre, A. A., Miranda Ackerman, M., Moras Sánchez, C. G., Ixmatlahua Rivera, B. O., Azzaro-Pantel, C., (2014). An expert system for predicting orchard yield and fruit quality and is impact on the Persian lime supply chain. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 33, 21–30.
[22] González-Araya, M. C., Soto-Silva, W. E., Espejo, L. G. A., (2015). Harvest Planning in Apple Orchards Using an Optimization Model. In International Series in Operations Research and Management Science, 79–105.
[23] Cheraghalipour, A., Paydar, M.M., Hajiaghaei-keshteli, M., (2017). An Integrated Approach for Collection Center Selection in Reverse Logistics. International Journal of Engineering, Transactions A: Basics, 30(7), 1005–1016.
[24] Paydar, M.M., Cheraghalipour, A., Hajiaghaei-keshteli, M., (2018). A Bi-objective stochastic

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]

mathematical model for agricultural supply chain network. International Conference on Supply Chain and Logistics Management, World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index, Industrial and Manufacturing Engineering, Dubai,Vo, 5, 1545–1551.

[25] Cheraghalipour, A., Hajiaghaei-keshteli, M., (2017). Tree Growth Algorithm (TGA): An Effective Metaheuristic Algorithm Inspired by trees behavior. 13th International Conference on Industrial Engineering, Scientific Information Databases, babolsar, 1–8.

[26] Gen, M., Altiparmak, F., Lin, L., (2006). A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding. OR Spectrum, 28(3), 337–354.

[27] Eberhart, R., Kennedy, J., (1995). A new optimizer using particle swarm theory. MHS'95, Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, 39–43.

[29] Holland, J. H., (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence. The Quarterly Review of Biology, 1(1), 211.

[31] Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., Vecchi, M. P., (1983). Optimization by Simulated Annealing. Science, 220(4598), 671–680.

[33] Taguchi, G., (1986). Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes (illustrate). White Plains: The Organization.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.3.5.4]