مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال شانزدهم، شماره سوم (پیاپی ۶۲)، پاییز ۹۸، ص ص ۱۴۵-۱۲۳
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

بهینه‌سازی یک سیستم یکپارچه تولید-توزیع با پارامترهای احتمالی در شبکه زنجیره‌تامین چندسطحی با در نظر گرفتن کمبود

حسن ونایی[۱]، مانی شریفی[۲*]، رضا رادفر[۳]، فرهاد حسین زاده لطفی[۴]، عباس طلوعی اشلقی[۳]

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مدیریت، واحد امارات، دانشگاه آزاد اسلامی، دبی، امارات متحده عربی

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

۳- استاد، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- استاد، دانشکده علوم پایه، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

رسید مقاله: ۱ شهریور ۱۳۹۷

پذیرش مقاله: ۱۲ اسفند ۱۳۹۷

چکیده

یکی از مهم‌ترین مباحث مطرح شده در زنجیره‌تامین، برنامه‌ریزی یکپارچه تولید-توزیع است. تولید و توزیع یکپارچه محصولات در یک زنجیره‌تامین نقش مهمی را در کاهش هزینه‌های زنجیره بر عهده دارد. در این مقاله، یک مدل ریاضی برای مساله تولید-توزیع یکپارچه در یک زنجیره‌تامین سه سطحی شامل کارخانه‌های تولیدی، مراکز توزیع و مشتریان برای چند نوع محصول و در طی چندین دوره زمانی ارایه شده است. هدف مدل شامل کمینه‌کردن کل هزینه‌های زنجیره‌تامین با توجه به ظرفیت‌های موجود، در نظر گرفته شده است. برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در مسایل واقعی، در مساله مورد بررسی در این تحقیق نیز برخی پارامترها را، از جمله هزینه‌های موجود در مدل با استفاده از مدل مارکویتز به صورت غیرقطعی تبدیل خواهیم کرد و در انتها مدل با پارامترهای احتمالی با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل خواهد شد. مدل اولیه به صورت خطی است؛ ولی پس از تبدیل شدن پارامترهای قطعی به پارامترهای احتمالی مدل به صورت غیرخطی در می‌آید. دراین تحقیق برای احتمالی کردن پارامترهای مدل، ابتدا با در نظر گرفتن یک توزیع نرمال با میانگین و واریانس معلوم، هر یک از هزینه‌های موجود به صورت یک تابع تصادفی در آمدند و در انتها با استفاده از مدل مارکویتز، مدل قطعی با پارامترهای قطعی به مدل با رویکرد احتمالی تبدیل خواهد شد

کلمات کلیدی: زنجیره‌تامین، تولید توزیع یکپارچه، مدل مارکویتز، الگوریتم ژنتیک.

۱ مقدمه

مدیریت زنجیره‌تامین مجموعه‌ای از روش‌هایی است که برای یکپارچه‌سازی موثر تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشگاه‌ها به‌کار می‌رود تا محصولات موردنیاز به مقدار مشخص و در زمان و مکان معین تولید و به مشتریان عرضه شوند تا هزینه‌های کل زنجیره‌تامین به حداقل برسد و همچنین نیاز مشتریان با سطح خدمت‌رسانی

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: M.Sharifi@Qiau.ac.ir

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

بالایی برآورده شود. امروزه هیچ شرکتی نمی‌تواند از مدیریت زنجیره‌تامین چشم‌پوشی کند و انتظار بقا داشته باشد. در جهان امروز تغییرات در عرصه اقتصاد و صنعت با سرعت بیش‌تری نسبت به گذشته در حال وقوع است. میان این تغییرات و تحولات، ایجاد موسسات و فعالیت‌های جدید و در کنار آن توسعه‌ها و افزایش فعالیت‌ها، منجر به شلوغی‌های غیر قابل نظارت شده است. در عین حال برای نظم دادن به این آشوب‌ها و شلوغی‌ها، نیاز به فعالیت‌هایی است که آن‌ها را سامان داده و نظارت کند. از جمله این فعالیت‌ها، شناسایی زنجیره‌تامین و مدیریت آن و ایجاد رابطه بین آن‌ها می‌باشد. به دلیل اهمیت زنجیره‌تامین در صنعت و اقتصاد و توجه زیاد محققان به این زمینه، در این تحقیق به توسعه مدل ریاضی چندسطحی تولید و توزیع در زنجیره‌تامین با پارامترهای احتمالی و حل مدل توسط یک الگوریتم فراابتکاری پرداخته می‌شود.

۲ پیشینه پژوهش

طراحی شبکه زنجیره‌تامین یکی از مهم‌ترین موضوعات استراتژیک در مدیریت زنجیره‌تامین بوده و در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان بوده است. طراحی شبکه زنجیره‌تامین یک طرح بهینه برای مدیریت زنجیره‌تامین تهیه می‌کند. مساله مهم مدیریت عملیات در مدیریت زنجیره‌تامین بوده و طراحی یک زنجیره‌تامین موفق تقاضای مشتریان را با کم‌ترین هزینه پاسخ داده و باعث رضایت مشتریان می‌شوند. در ادامه تحقیق بر تحقیقات پیشین مروری خواهد شد.

یکی از اولین مطالعاتی که به مدل‌سازی چند هدفه در زمینه زنجیره‌تامین پرداخت، مقاله‌ی منتشر شده توسط وبر و کارنت [۱] در سال ۱۹۹۳ می‌باشد. نویسندگان این مقاله به تحلیل تأمین‌کنندگان با هدف کاهش هزینه خرید، کاهش کالاهای برگشتی و کاهش تأخیر در زمان تحویل پرداختند و برای بهینه‌سازی جواب، از اختصاص وزن‌های متفاوت به اهداف در الگوریتم حل مساله استفاده کردند. به طور مشابه در سال ۱۹۹۹، جایارامان [۲] با ارایه‌ی یک مدل برنامه‌ریزی وزین چند هدفه، به بهینه‌سازی اختصاص منابع و مکانیابی آن و همچنین تحلیل آن پرداخت. همچنین او بر این عقیده بود که مدل ارایه شده قادر به ارزیابی فرایندهای بین واحدهای مختلف و تأمین تقاضای آن‌ها می‌باشد. در سال ۲۰۰۰، وبر و همکاران [۳] روشی را برای انتخاب و ارزیابی تأمین‌کنندگان پیشنهاد دادند. آن‌ها با افزایش حجم سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان با استفاده از برنامه‌ریزی چند هدفه سعی در بهینه‌سازی مطالعه‌ی پیشین خود داشتند. روش ارایه شده از تحلیل پوششی داده‌ها مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. در سال ۲۰۰۱ ، لاخال و همکاران [۴] یک مدل برنامه‌ریزی مربوط به کسب و کارهای گسترده برای بررسی استراتژی‌های شبکه تأمین ارایه دادند. این مدل ساختار شبکه تأمین را تحت فرضیات مربوط به ماهیت محصول، تابع ارزش و هزینه درنظر می‌گیرد. در سال ۲۰۰۳، ژو و همکاران [۵] یک مدل دو معیاره برای اختصاص تقاضای مشتریان به انبارها ارایه دادند. اهداف این مدل حداقل‌سازی هزینه و حداقل‌سازی زمان حمل و نقل بین انبار و مشتری می‌باشد. در این مقاله از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل استفاده شده است. درسال ۲۰۰۴، چن و لی [۶] یک مدل چندسطحی، چند محصولی و چند دوره‌ای را با اهداف متناقض و در محیطی غیرقطعی پیشنهاد دادند. در این مدل تقاضای غیرقطعی به صورت سناریوهای مجزا با احتمالاتی مشخص و عدم تجانس بین

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

خریدار و فروشنده با بهره‌گیری از ویژگی‌های مجموعه‌های فازی مدل‌سازی شده‌اند. در سال ۲۰۰۵، اسپیتر و همکاران [۷] یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای طراحی عملیات زنجیره‌تامین با محدودیت ظرفیت در خط مونتاژ پیشنهاد دادند. پیچیدگی‌های مربوط به زمان تحویل و ظرفیت چندسطحی، ازجمله مواردی است که در این مدل در نظر گرفته شده است. در سال ۲۰۰۶، آلتیپارماک و همکاران [۸] روش حلی جدید بر مبنای الگوریتم ژنتیک برای حل مساله‌ی چندهدفه طراحی شبکه تأمین ارایه دادند. این روش با پیدا کردن مجموعه جواب‌های بهینه- پارتو جوابی بهینه را شناسایی می‌کند. برای تسهیل در تصمیم‌گیری امکان تعیین وزن توسط تصمیم‌گیرندگان فراهم شده است. در سال ۲۰۰۷، شن و کی [۹] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای طراحی زنجیره‌تامین با در نظر گرفتن هزینه مکانیابی، مسیریابی و موجودی پیشنهاد دادند. آن‌ها یک سیستم زنجیره‌تامین سه سطحی با یک یا دو تأمین‌کننده، مراکز توزیع و مشتریان را با تقاضای غیرقطعی در نظر گرفتند. علاوه بر آن، سفارش‌ها در مقیاس اقتصادی از جمله ملاحظات مورد نظر آن‌ها بود. مطالعه در زمینه‌ی تصمیمات استراتژیک زنجیره‌تأمین با در نظر گرفتن چندین معیار توسط پخارل [۱۰] در سال ۲۰۰۸ انجام شد. حداقل‌سازی هزینه و حداکثرسازی خدمت‌رسانی به مشتریان از معیارهای مهم در تصمیمات استراتژیک می‌باشند. به‌علاوه، مدل ارایه شده برای این تصمیم‌گیری، یک مدل دو هدفه می‌باشد که با ظرفیت تولید، تأمین و تقاضا محدود شده‌است. ارزیابی میزان اثربخشی مدل با توسعه‌ی سناریوهای رخداد در شبکه زنجیره‌تامین مورد سنجش قرار می‌گیرد. در سال ۲۰۰۹، چن و ویراکتاریس [۱۱] یک مدل زمان‌بندی تولید-توزیع برای خدمت‌رسانی در صنعت کامپیوتر و غذا ارایه دادند. این مدل بر اساس سیاست تولید بر مبنای سفارش طراحی شد. حداقل‌سازی زمان توزیع و تحویل محصولات از جمله اهداف این مدل می‌باشند. در سال ۲۰۱۰، بیلجن [۱۲] یک مدل تولید-توزیع در سیستم زنجیره‌تامین برای اختصاص حجم تولید به خطوط مختلف تولید در یک واحد تولیدی و تحویل آن‌ها به مراکز تولید ارایه دادند. در واقع هدف اصلی این مدل ایجاد هماهنگی در تصمیمات لجستیک می‌باشد. با توجه به عدم قطعیت در ماهیت مساله، استفاده از مجموعه‌های فازی امری اجتناب ناپذیر می‌باشد که در مدل اعمال شده است. در سال ۲۰۱۱، کاباک و النجین [۱۳] یک مدل برنامه‌ریزی خطی بر مبنای مجموعه‌های فازی برای مقابله با عدم‌قطعیت حاصل از محیط و سیستم پیشنهاد دادند. این مدل برنامه‌ریزی احتمالی برای تصمیم‌گیری استراتژیک در برنامه‌ریزی منابع، پیش‌بینی تقاضا و حداکثرسازی سود مورد استفاده می‌باشد. همزمان با آن در سال ۲۰۱۱، کاردونا و همکاران [۱۴]، مطالعه‌ای را در زمینه‌ی شبکه‌ی تولید- توزیع دو سطحی انجام دادند. نقطه‌ی قوت این مطالعه در توسعه‌ی مدل‌های ارایه شده‌ی قبلی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضای مشتریان می‌باشد. برای حل این مدل از الگوریتم L-shape استفاده شده و ارزیابی مدل نیز از طریق مثالی عددی مورد بررسی قرار گرفته است. در سال ۲۰۱۲، پیشوایی و رزمی [۱۵] به اثرات محیطی فعالیت‌های تجاری در طراحی زنجیره‌تامین پرداختند. در این مقاله یک مدل ریاضی چند هدفه در محیط فازی برای طراحی یک زنجیره‌تامین با ملاحظات محیطی، ارایه شده است. در این مدل سعی بر آن است که هزینه شبکه تأمین و تمام اثرات محیطی به صورتی متعادل به حداقل مقدار ممکن کاهش داده شوند. ارزیابی اثرات محیطی، برای یکپارچه‌سازی شبکه تأمین توسط رویکردی بر مبنای چرخه‌های عمر زنجیره انجام می‌شود. به طور همزمان در سال۲۰۱۲، پاکسوی و پهیلوان [۱۶]

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

یک مدل برنامه‌ریزی خطی فازی را برای بهینه‌سازی شبکه تأمین چندسطحی با در نظر گرفتن اعداد فازی مثلثی ارایه دادند. در سال ۲۰۱۳، لیو و پاپاگئورگیو [۱۷] یک رویکرد برنامه‌ریزی چندهدفه با در نظر گرفتن هزینه نهایی، زمان نهایی و فروش از دست رفته ارایه دادند. آن‌ها دو استراتژی در زمینه‌ی ظرفیت‌های شرکت‌ها در نظر گرفته و از آن‌ها برای فرمول‌سازی مدل مساله استفاده کردند. حل مدل نیز از تلفیق دو روش ϵ-constraint و روش لکسیوگرافی صورت گرفت. در سال ۲۰۱۴، والدس و همکاران [۱۸] طراحی یک شبکه تولید- توزیع دوسطحی با چندین تولیدکننده و توزیع‌کننده را در نظر گرفتند. تمرکز اصلی آنها، توسعه‌ی شبکه‌های پیشین زنجیره‌تامین با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضای مراکز توزیع، نوع توزیع و همچنین برآورده‌سازی اهداف اقتصادی و کیفیتی تصمیم‌گیرندگان می‌باشد. نکته‌ی قابل توجه در این مطالعه استفاده از روشی مناسب (ϵ-constraint) برای حل این مدل می‌باشد.

در سال ۱۳۸۷، تیموری و حافظ الکتب [۱۹] به توسعه مدل برنامه‌ریزی خطی آمیخته عدد صحیح دو هدفه جهت طراحی شبکه تامین و انتخاب مرکز یک کاسه‌سازی پرداختندکه هدف اول آن بیشینه‌سازی مطلوبیت‌های شبکه، حاصل از فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و هدف دوم آن کمینه‌سازی هزینه‌های استقرار تسهیلات و جریان کالا در شبکه تامین می‌باشد برای حل این مدل از روش معیار جامع استفاده شده است.

در سال۱۳۹۲، بشیری و شرافتی [۲۰] طراحی دو هدفه شبکه زنجیره‌تامین حلقه بسته با در نظر گرفتن معیارهای همبسته در محیط فازی را در نظر گرفتند در این مطالعه برای افزایش کارایی زنجیره‌تأمین پیشنهادی، مدل چند محصولی فرض شده و معیارهای کیفی مؤثر مورد توجه قرار گرفته‌اند. درواقع این مطالعه به حل توأم دو مساله بسیار مهم در مدیریت زنجیره‌تأمین، یعنی طراحی شبکه و انتخاب بهترین تأمین‌کننده می‌پردازد. در این پژوهش با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ملاکی تحت عنوان امتیاز مؤلفه اصلی معرفی می‌گردد، که به نوعی همه معیارهای مورد نظر برای انتخاب اجزای زنجیره‌تأمین را به صورت هم‌زمان در نظر گیرد. مزیت این روش علاوه بر ادغام معیارهای مورد نظر و کاهش ابعاد، از بین بردن همبستگی بین آن‌ها برای تصمیم‌گیری است. همچنین در این مساله ضمن فازی بودن پارامترها میزان برآورده‌شدن محدودیت‌ها نیز فازی در نظر گرفته شده است. درنهایت جواب مرجح مساله با استفاده از روش Lp-metrics، تعیین می‌گردد. از دیگر مسایل مورد بحث در مدیریت زنجیره‌تامین موضوع زنجیره‌تامین پایدار است، پژوهش‌هایی که با تمرکز بر مفاهیم اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی توسعه پیدا کرده‌اند [۲۱].

در این تحقیق به توسعه مدل ریاضی چند سطحی تولید و توزیع در زنجیره‌تامین با پارامترهای احتمالی و حل مدل توسط یک الگوریتم فراابتکاری پرداخته می‌شود. هدف از طراحی شبکه زنجیره‌تامین تحت شرایط عدم قطعیت دستیابی به یک ساختار است که بتواند تحت حرف هم ممکن از پارامترهای نامطمئن به خوبی عمل نماید [۲۲، ۲۳].

در ادامه مقاله حاضر به این صورت سازماندهی می‌شود که در بخش سوم، مساله مورد بررسی در این تحقیق تشریح می‌شود. سپس با برشمردن فرضیات حاکم بر تحقیق، مدل بهینه‌سازی ریاضی ارایه شده در این تحقیق

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

معرفی می‌شود. در بخش پنجم روش حل استفاده شده در این تحقیق برای مدل ریاضی پیشنهادی ارایه می‌شود. در بخش ششم به معرفی یک مثال عددی جهت پیاده‌سازی مدل ریاضی ارایه شده می‌پردازیم و نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل پیشنهادی در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد. در انتها نتیجه‌گیری حاصل از این تحقیق ارایه شده و نتایج به‌دست آمده مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

۳ بیان مساله

رقابت شدید در بازارهای جهانی امروزی، معرفی محصولاتی با چرخه‌های عمرکوتاه و انتظارات بالای مشتریان، سرمایه‌گذاران را مجبور به سرمایه‌گذاری و تمرکز بر زنجیره‌تامین کرده است. این امر به همراه پیشرفت‌های مداوم در فناوری ارتباطات و حمل و نقل موجب تحول و تکامل تدریجی زنجیره‌تامین و تکنیک‌های مربوط به مدیریت زنجیره‌تامین شده است. در زنجیره‌تامین، مواد خام خریداری می‌شوند و موادی نیز در یک یا چندکارخانه تولید می‌گردد و برای فروش به مشتریان و خرده‌فروشان به انبارها انتقال می‌یابند. برای کاهش هزینه و بهبود سطح خدمت باید رویکردهای موثر در یک زنجیره‌تامین در سطوح مختلف به کار گرفته شوند. زنجیره‌تامین که شبکه لجستیک یا شبکه تدارکات نیز نام دارد متشکل از تامین‌کنندگان، مراکز تولید، انبارها، مراکز توزیع و خرده‌فروشان است. مواد خام، نیمه‌ساخته و محصولات ساخته شده در میان تسهیلات و حلقه‌های زنجیره‌تامین در جریان هستند [۲۴].

به دنبال افزایش خواسته‌ها و انتظارات مشتریان و به‌تبع آن افزایش روز افزون رقابت در صنایع این اعتقاد به وجود آمده است که رقابت در میان شرکت‌ها مطرح نبوده و این زنجیره‌های تامین هستند که در رقابت با یکدیگر می‌باشند. بی‌شک کیفیت محصول یا خدماتی که به مشتری ارایه می‌گردد به شرکت‌هایی وابسته است که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در ایجاد آن نقش داشته‌اند و همین امر منجر به چالش‌هایی در یکپارچه‌سازی شرکت‌ها و هماهنگ‌سازی جریان مواد و اطلاعات در میان این شرکت‌ها می‌گردد. توصیه متخصصان به تولیدکنندگان همواره این است که با توزیع‌کنندگان خود همچون یک شریک رفتار نمایند. این به معنی ارزش‌گذاری به عملکرد توزیع‌کنندگان و پشتیبانی از آن‌ها در مواقع ضروری برای موفقیت بیش‌تر است که در نهایت منافع آن متوجه خود تولیدکننده خواهد شد. توزیع‌کنندگان اطلاعات ارزشمندی درباره نیازها و خواسته‌های مشتریان دارند و تولیدکنندگان موفق، از این اطلاعات برای توسعه محصولات جدید و خطوط تولید جدید بهره می‌برند. به‌طور مشابه، توزیع‌کنندگان جهت تامین محصولات مورد نیاز برای فروش، به تولیدکنندگان نیازمندند. برنامه‌ریزی یکپارچه تولید توزیع یکی از مهم‌ترین مباحث مطرح شده در مدیریت زنجیره‌تامین می‌باشد. یک زنجیره‌ی تامین یکپارچه شامل اجزای مختلفی از سفارش، تولید و توزیع است که نقش مهمی را در کاهش هزینه‌های سیستم ساخت و خدمت‌رسانی بر عهده دارد؛ بنابراین مدیریت زنجیره‌تامین یک مجموعه از روش‌هایی است که برای یکپارچه نمودن موثر تامین‌کنندگان، انبارها و خرده‌فروشان به کار می‌رود تا محصولات مورد نیاز به مقدار مشخص و در زمان و مکان معین تولید شده و به مشتریان عرضه شود تا هزینه‌های کل زنجیره، حداقل گردد و در ضمن نیاز مشتریان با سطح خدمت بالا برآورده شود [۲۴].

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

در این تحقیق به مدل‌سازی و حل مساله یکپارچه تولید- توزیع در زنجیره‌تامین پرداخته می‌شود. زنجیره تامین مفروض سه سطحی بوده که در سطح اول تا سوم به ترتیب تولیدکننده‌ها، توزیع‌کننده‌ها و مراکز فروش قرار دارند.

برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در مسایل واقعی، در مساله مورد بررسی در این تحقیق نیز برخی پارامترها از جمله هزینه‌های موجود در مدل را احتمالی در نظر می‌گیریم و عدم قطعیت‌های آن‌ها را مدل خواهیم کرد. زنجیره‌تامین در نظر گرفته شده در این تحقیق چند دوره‌ای و چند محصولی است. تابع هدف مدل عبارت است از کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های زنجیره‌تامین.

به‌طور کلی در مدل ریاضی ارایه شده زنجیره‌تامین سه سطحی می‌باشد. مدل به صورت چند دوره‌ای است. مدل به صورت چند محصولی می‌باشد. مقدار تقاضا به تولیدکنندگان در آغاز دوره اختصاص داده شده است. طول مدت هر دوره برابر با مجموع زمان تولید می‌باشد. در ابتدا و انتهای برنامه‌ریزی هیچ موجودی در توزیع‌کننده وجود ندارد. محصولات قبل از تحویل به نمایندگی فروش به طور موقت در توزیع‌کننده‌ها ذخیره می‌شوند. ظرفیت‌های موجود شناخته شده است. حمل و نقل با ظرفیت ثابت در نظر گرفته شده است. به تمامی تقاضای مشتریان پاسخ داده نمی‌شود. کمبود مجاز است. هزینه‌های موجود در این مدل از جمله هزینه تولید، هزینه محصول، هزینه حمل و نقل، هزینه کمبود به صورت احتمالی در نظر گرفته شده است.

خروجی‌های مدل عبارتند از: ۱) مقدار تولید محصولات توسط تولیدکننده‌ها. ۲) موجودی محصولات در توزیع‌کننده‌ها. ۳) مقدار حمل و نقل محصولات از تولیدکننده‌ها به توزیع‌کننده‌ها. ۴) مقدار حمل و نقل محصولات از توزیع‌کننده‌ها به نمایندگی‌های فروش. ۵) مقدار کمبود محصولات در نمایندگی‌های فروش.

مسایل طراحی شبکه لجستیک در اکثر موارد به دسته NP-Hard تعلق دارند [۲۵]. در نتیجه مسایل طراحی شبکه لجستیک چند مرحله‌ای نیز مسایلی در کلاس NP-Hard با درجه سختی بالا هستند. برای حل این‌گونه مسایل نمی‌توان از روش‌های دقیق استفاده کرد. نویسندگان و محققان برای این‌گونه مسایل از روش‌های ابتکاری و فراابتکاری که بر پایه بهینه‌سازی مسایل ترکیبی استوارند، استفاده می‌کنند؛ لذا، در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک جهت حل مدل استفاده گردیده است.

همان‌طور که گفته شد، مدل مفروض دارای پارامترهای احتمالی می‌باشد؛ مدل اولیه به صورت خطی می‌باشد ولی پس از تبدیل شدن پارامترهای قطعی به پارامترهای احتمالی مدل به صورت غیرخطی در می‌آید. دراین تحقیق برای احتمالی کردن پارامترهای مدل، ابتدا با در نظر گرفتن یک توزیع نرمال با میانگین و واریانس معلوم، هر یک از هزینه‌های موجود به صورت یک تابع در آمدند و در انتها با استفاده از مدل مارکویتز[1]، مدل قطعی با پارامترهای قطعی به مدل با رویکرد احتمالی تبدیل خواهد شد. در مدل مارکویتز یک سرمایه‌گذار پول‌های خود را در سهامی سرمایه‌گذاری می‌کند که، بیش‌ترین مقدار ممکن از بازده آن‌ها به‌دست آورد. او همچنین، علاقه دارد که میزان پراکندگی و انحراف از بازده سبد سهام‌اش کم‌ترین مقدار را دارا باشد. برای

[1] Markowitz

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

اندازه‌گیری ریسک اوراق بهادار، از واریانس بازده‌های مورد انتظار استفاده می‌شود. در ابتدا، مارکویتز انتخاب سبد سهام را با استفاده از واریانس برای اندازه‌گیری ریسک نشان داد. روش ارایه شده توسط او به روش میانگین- واریانس (E-V) مشهور است. مدل مارکویتز بیش‌ترین مقدار مورد انتظار(E) و کم‌ترین مقدار واریانس(V) را به‌طور هم‌زمان در نظر می‌گیرد. مفروضات اساسی مارکویتز، مبنای مدل او را شکل می‌دهد، اینکه سرمایه‌گذاران بازده را مطلوب دانسته و از ریسک گریزان هستند. به‌علاوه آن‌ها، در تصمیم‌گیری منطقی عمل می‌کنند و تصمیماتی را اتخاذ می‌کنند که باعث حداکثر کردن بازده مطلوب آن‌ها می‌شود؛ بنابراین، مطلوبیت سرمایه‌گذاران، تابعی است از بازده مورد انتظار و ریسک، که این دو عامل، پارامترهای اساسی تصمیمات مربوط به سرمایه‌گذاری هستند.

به طور خلاصه می‌توان گفت مدل مارکویتز(مدل میانگین-واریانس) مدلی است که ورودی آن پارامترهای احتمالی هستند. در نتیجه با توجه به مطالب گفته شده، مدل به رویکرد احتمالی تبدیل خواهد شد و در انتها برای حل مدل از الگوریتم‌های ژنتیک استفاده خواهد شد.

٤ مدل بهینه‌سازی ریاضی

زنجیره‌تامین مفروض سه سطحی بوده که در سطح اول تا سوم به ترتیب تولیدکننده‌ها، توزیع‌کننده‌ها و مراکز فروش قرار دارند. برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در مسایل واقعی، در مساله مورد بررسی در این تحقیق نیز برخی پارامترها از جمله هزینه‌های موجود در مدل را احتمالی در نظر گرفته و عدم قطعیت‌های آن‌ها را مدل خواهیم کرد. به طور خلاصه و با توجه به مطالب فوق‌الذکر فرض‌هایی که در این تحقیق برای مدل‌سازی در نظر گرفته شده‌اند عبارتند از:

- ✓ مدل به صورت چند دوره‌ای است.
- ✓ مدل چند سطحی است.
- ✓ مدل چند کالایی است.
- ✓ به تمامی تقاضای مشتریان پاسخ داده نمی‌شود.
- ✓ کمبود مجاز است.
- ✓ مدل برای چند ساختار طراحی شده است.
- ✓ مقدار تقاضا به تولید کنندگان در آغاز دوره اختصاص داده شده است.
- ✓ طول مدت هر دوره برابر با مجموع زمان تولید می‌باشد.
- ✓ در ابتدا و انتهای برنامه‌ریزی هیچ موجودی در توزیع‌کننده وجود ندارد.
- ✓ محصولات قبل از تحویل به نمایندگی فروش به‌طور موقت در توزیع‌کننده‌ها ذخیره می‌شوند.
- ✓ ظرفیت‌های موجود شناخته شده است.
- ✓ حمل و نقل با ظرفیت ثابت در نظر گرفته شده است.
- ✓ پارامترهای مدل به صورت احتمالی مدل خواهند شد.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

بر اساس فرضیات فوق مدل ریاضی این تحقیق توسعه داده خواهد شد. خروجی مدل ریاضی توسعه داده شده شامل مقدار تولید محصولات توسط تولیدکننده‌ها، موجودی محصولات در توزیع‌کننده‌ها، مقدار حمل و نقل محصولات از تولیدکننده‌ها به توزیع‌کننده‌ها، مقدار حمل و نقل محصولات از توزیع‌کننده‌ها به نمایندگی‌های فروش و مقدار کمبود محصولات در نمایندگی‌های فروش می‌باشد. در ادامه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل در جدول ۱ معرفی می شود.

جدول ۱. علایم استفاده شده در این تحقیق

اندیس‌ها:
i : اندیس مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز تولیدکننده
j : اندیس مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز توزیع‌کننده
k : اندیس مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز فروش(مشتریان)
p : اندیس مجموعه محصولات
پارامترهای مدل:
Γ_{jpt} : هزینه محصول p در توزیع‌کننده j در زمان t.
ρ_{ipt} : هزینه تولید محصول p توسط تولیدکننده i در زمان t.
υ_{ijpt} : هزینه حمل و نقل محصول p از تولیدکننده i به توزیع‌کننده j در طول دوره t.
$\tilde{\upsilon}_{jkpt}$: هزینه حمل و نقل محصول p از توزیع‌کننده به نمایندگی فروش k در طول دوره t.
θ_{ipt} : زمان مورد نیاز برای تولید محصول p توسط تولیدکننده i در زمان t.
$T\theta_t$: زمان کل تولید در طول دوره t.
D_{kpt} : تقاضا از فروشنده k برای محصول p در طول دوره t.
Ca_{ipt} : ظرفیت تولید از تولیدکننده i برای محصول p در زمان t.
V_{jt} : ظرفیت کل ذخیره‌سازی توزیع‌کننده j در طول دوره t.
V_{jpt} : ظرفیت ذخیره‌سازی از توزیع‌کننده j برای محصول p در زمان t.
U_{kpt} : ظرفیت ذخیره‌سازی از فروشنده k، برای محصول p در زمان t.
U_{kt} : ظرفیت کل ذخیره‌سازی فروشنده k، در طول دوره t.
S_{kpt} : هزینه کمبود برای هر محصول p در فروشنده k در طول دوره t.
متغیرهای مدل:
α_{ijpt} : مقدار حمل و نقل محصول p از تولیدکننده i به توزیع‌کننده j در طول دوره t.
β_{jkpt} : مقدار حمل و نقل محصول p از توزیع‌کننده j به نمایندگی فروش k در طول دوره t.
χ_{ipt} : مقدار تولید محصول p توسط تولیدکننده i در طول دوره t.
γ_{kpt} : مقدار کمبود برای محصول p در فروشنده k در طول دوره t.
In_{pjt} : موجودی محصول p در توزیع‌کننده j در زمان t.

در این بخش با استفاده از نمادهای فوق مدل برنامه‌ریزی خطی قطعی برای طراحی شبکه لجستیک یکپارچه با هدف حداقل‌سازی هزینه‌ها و حداقل‌سازی ظرفیت‌های موجود به صورت ذیل ارایه می‌گردد. این مدل شامل تابع هدف و محدودیت‌های مدل است که به‌صورت مجزا شرح داده شده است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

همان‌طور که قبل از این نیز گفته شد، تابع هدف در نظر گرفته شده در این مدل کمینه‌سازی هزینه کل شبکه مورد بررسی است که در ادامه اجزای آن به صورت فرمول ریاضی شرح داده می‌شود.

$$\min Z_1 = \sum_{i=1}^{I}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\rho_{ipt}.\chi_{ipt} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\Gamma_{jpt}.\left(In_{pj\tau}\right)+\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\upsilon_{ijpt}.\alpha_{ijpt} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\ddot{v}_{jkpt}.\beta_{jkpt} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}S_{kpt}.\gamma_{kpt} \quad (۱)$$

این محدودیت بیانگر رابطه‌ی بین مقدار حمل و نقل محصول با مقدار تولید آن می‌باشد.

$$\chi_{ipt} \le Ca_{ipt} \qquad \forall i,p,t \quad (۲)$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{\tau=1}^{t}\alpha_{ijp\tau} \le \sum_{\tau=1}^{t}\chi_{ip\tau} \qquad \forall i\ ,p\ ,t\neq T \quad (۳)$$

این محدودیت مربوط به ظرفیت تولید می‌باشد.

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{p=1}^{P}\alpha_{ijpt} \le V_{jt} \qquad \forall\ j,t \quad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^{I}\alpha_{ijpt} \le V_{jpt} \qquad \forall\ j,p,t \quad (۵)$$

محدودیت‌های (۴) و (۵) به ترتیب مربوط به ظرفیت توزیع‌کنندگان برای هر نوع محصول یا انواع محصولات می‌باشد.

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\beta_{jkpt} \le U_{kt} \qquad \forall\ k\ ,t \quad (۶)$$

$$\sum_{j=1}^{J}\beta_{jkpt} \le U_{kpt} \qquad \forall\ k\ ,t,p \quad (۷)$$

محدودیت‌های (۷) و (۶) به ترتیب مربوط به ظرفیت فروشندگان برای هر نوع محصول یا انواع محصولات می‌باشد.

$$\sum_{k=1}^{K}\gamma_{kpt} = \sum_{k=1}^{K}D_{kpt} - \sum_{i=1}^{I}\chi_{ipt} \qquad \forall\ p\ ,t \quad (۸)$$

این محدودیت مربوط به بررسی میزان کمبود در فروشندگان می‌باشد.

$$\sum_{j=1}^{J}\beta_{jkpt} = D_{kpt} \qquad \forall k\ ,p\ ,t \quad (۹)$$

این محدودیت نشان می‌دهد که کل تقاضا در افق برنامه‌ریزی چگونه تامین می‌شود.

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{\tau=1}^{t}\beta_{jkp\tau} \le \sum_{i=1}^{I}\sum_{\tau=1}^{t}\alpha_{ijp\tau} \qquad \forall\ j\ ,p\ ,t\neq T \quad (۱۰)$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T}\beta_{jkpt} \le \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T}\alpha_{ijpt} \qquad \forall\ \ j\ ,p \quad (۱۱)$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

محدودیت‌های (۱۱) و (۱۰) بیانگر این است که در طول افق برنامه‌ریزی در ابتدا و انتها دوره هیچ موجودی در توزیع‌کننده‌ها موجود نمی‌باشد.

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{\tau=1}^{t}\alpha_{ijp\tau} - \sum_{k=1}^{K}\sum_{\tau=1}^{t}\beta_{jkp\tau} = In_{pj\tau} \qquad \forall\ j, p, t \neq T \qquad (۱۲)$$

این محدودیت در طول افق برنامه‌ریزی نشان‌دهندهٔ تعادل بین کل ورودی‌ها و خروجی‌ها از کالاهای در حال حرکت به و از توزیع‌کننده‌ها می‌باشد.

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{p=1}^{P}\theta_{ipt} \cdot \chi_{ipt} \leq T\theta_t \qquad \forall\ t \qquad (۱۳)$$

این محدودیت نشان‌دهنده زمان در دسترس از امکانات تولید برای تمام مراحل تولید می‌باشد.

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T}D_{kpt} < \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T}\chi_{ipt} \leq \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T}Ca_{ipt} \qquad \forall\ p \qquad (۱۴)$$

این محدودیت بیانگر این است که همواره مقدار تولید بین تقاضا و ظرفیت تولید قرار دارد.

$$\alpha_{ijpt}\ ,\beta_{jkpt}\ ,\chi_{ipt}\ ,\gamma_{kpt} \geq 0\ ,\ \forall\ i, j, k, p, t \qquad (۱۵)$$

این محدودیت تضمین می‌کند که مقدار حمل و نقل، تولید و کمبود منفی نخواهند بود.

در مدل توسعه داده شده، پارامترهای مدل به صورت قطعی هستند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در تابع هدف مدل تمامی پارامترهای آن، که شامل هزینه‌های موجود در مدل می‌باشد به صورت قطعی ارایه شده‌اند.

$$\begin{aligned}\min Z_1 = &\sum_{i=1}^{I}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\rho_{ipt}\cdot\chi_{ipt} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\Gamma_{jpt}\cdot\left(In_{pj\tau}\right) + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\upsilon_{ijpt}\cdot\alpha_{ijpt} \\ &+ \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\tilde{\upsilon}_{jkpt}\cdot\beta_{jkpt} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}S_{kpt}\cdot\gamma_{kpt}\end{aligned} \qquad (۱۶)$$

روش‌های متعددی برای تبدیل مدل ریاضی قطعی به مدل احتمالی نظیر آن پیشنهاد شده است. در این تحقیق از مدل مارکویتز استفاده شده است. در مدل مارکویتز (مدل میانگین-واریانس) ورودی‌های مدل پارامترهای احتمالی هستند. برای احتمالی کردن پارامترهای مدل، ابتدا با در نظر گرفتن یک توزیع نرمال با میانگین و واریانس معلوم هر یک از هزینه‌های موجود به صورت یک تابع در آمدند.

$$\begin{aligned}\rho_{ipt} &\sim \mathrm{N}\left(\mu_{\rho_{ipt}}, \sigma^2_{\rho_{ipt}}\right)\\ \Gamma_{ipt} &\sim \mathrm{N}\left(\mu_{\Gamma_{ipt}}, \sigma^2_{\Gamma_{ipt}}\right)\\ \upsilon_{ijpt} &\sim \mathrm{N}\left(\mu_{\upsilon_{ijpt}}, \sigma^2_{\upsilon_{ijpt}}\right)\\ \tilde{\upsilon}_{jkpt} &\sim \mathrm{N}\left(\mu_{\tilde{\upsilon}_{jkpt}}, \sigma^2_{\tilde{\upsilon}_{jkpt}}\right)\\ S_{kpt} &\sim \mathrm{N}\left(\mu_{S_{kpt}}, \sigma^2_{S_{kpt}}\right)\end{aligned}$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

در ادامه برای هر یک از هزینه‌های مدل خواهیم داشت:

$$\rho_{ipt}.\chi_{ipt} \sim \mathrm{N}\left(\mu_{\rho_{ipt}}.\chi_{ipt} \ ,\sigma^{2}_{\rho_{ipt}}.\chi^{2}_{ipt}\right)$$

$$\Gamma_{jpt}\left(\sum_{\tau=1}^{t}\sum_{i=1}^{I}\alpha_{ijpt}-\sum_{\tau=1}^{t}\sum_{k=1}^{k}\beta_{jkpt}\right)\sim \mathrm{N}\left(\mu_{\Gamma_{ipt}}.\left(In_{pj\tau}\right),\sigma^{2}_{\Gamma_{ipt}}.\left(In_{pj\tau}\right)^{2}\right)$$

$$\upsilon_{ijpt}.\alpha_{ijpt} \sim \mathrm{N}\left(\mu_{\upsilon_{ijpt}}.\alpha_{ijpt} \ ,\sigma^{2}_{\upsilon_{ijpt}}.\alpha^{2}_{ijpt}\right)$$

$$\hat{\upsilon}_{jkpt}.\beta_{\mathrm{jkpt}} \sim \mathrm{N}\left(\mu_{\hat{\upsilon}_{jkpt}}.\beta_{\mathrm{jkpt}},\sigma^{2}_{\hat{\upsilon}_{jkpt}}.\beta^{2}_{jkpt}\right)$$

$$S_{kpt}.\gamma_{\mathrm{kpt}} \sim \mathrm{N}\left(\mu_{S_{kpt}}.\gamma_{\mathrm{kpt}},\sigma^{2}_{S_{kpt}}.\gamma^{2}_{kpt}\right)$$

و در انتها با استفاده از روش مارکویتز، که در آن میانگین با ضریبی از واریانس جمع می‌شود، مدل قطعی با پارامترهای قطعی، به مدل با رویکرد احتمالی تبدیل خواهد شد.

$$\begin{aligned}MinZ_{1}=&\sum_{i=1}^{I}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\left[\mu_{\rho_{ipt}}.\chi_{ipt}+\lambda.\sigma^{2}_{\rho_{ipt}}.\chi^{2}_{ipt}\right]+\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\left[\mu_{\Gamma_{jpt}}\left[In_{pj\tau}\right]+\lambda.\sigma^{2}_{\Gamma_{jpt}}.\left[In_{pj\tau}\right]^{2}\right]\\&+\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\left[\mu_{\upsilon_{ijpt}}.\alpha_{ijpt}+\lambda.\sigma^{2}_{\upsilon_{ijpt}}.\alpha^{2}_{ijpt}\right]\\&+\sum_{j=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\left[\mu_{\hat{\upsilon}_{jkpt}}.\beta_{jkpt}+\lambda.\sigma^{2}_{\hat{\upsilon}_{jkpt}}.\beta^{2}_{jkpt}\right]\\&+\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\left[\mu_{S_{kpt}}.\gamma_{\mathrm{kpt}}+\lambda\ .\sigma^{2}_{S_{kpt}}.\gamma^{2}_{kpt}\right]\end{aligned} \qquad (۱۷)$$

s.t.

$$\chi_{ipt}\le Ca_{ipt} \qquad \forall i,p,t \qquad (۱۸)$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{\tau=1}^{t}\alpha_{ijp\tau} \le\sum_{\tau=1}^{t}\chi_{ip\tau} \qquad \forall i \ ,p \ ,t\neq T \qquad (۱۹)$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{p=1}^{P}\alpha_{ijpt}\le V_{jt} \qquad \forall j,t \qquad (۲۰)$$

$$\sum_{i=1}^{I}\alpha_{ijpt}\le V_{jpt} \qquad \forall \ j,p,t \qquad (۲۱)$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\beta_{jkpt}\le U_{kt} \qquad \forall \ k \ ,t \qquad (۲۲)$$

$$\sum_{j=1}^{J}\beta_{jkpt}\le U_{kpt} \qquad \forall \ k \ ,t,p \qquad (۲۳)$$

$$\sum_{k=1}^{K}\gamma_{kpt}=\sum_{k=1}^{K}D_{kpt}-\sum_{i=1}^{I}\chi_{ipt} \qquad \forall \ p \ ,t \qquad (۲۴)$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

$$\sum_{j=1}^{J}\beta_{jkpt} = D_{kpt} \qquad \forall k, p, t \qquad (۲۵)$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{\tau=1}^{t}\beta_{jkp\tau} \le \sum_{i=1}^{I}\sum_{\tau=1}^{t}\alpha_{ijp\tau} \qquad \forall j, p, t \neq T \qquad (۲۶)$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T}\beta_{jkpt} \le \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T}\alpha_{ijpt} \qquad \forall j, p \qquad (۲۷)$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{\tau=1}^{t}\alpha_{ijp\tau} - \sum_{k=1}^{K}\sum_{\tau=1}^{t}\beta_{jkp\tau} = In_{pj\tau} \qquad \forall j, p, t \neq T \qquad (۲۸)$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{p=1}^{P}\theta_{ipt} \cdot \chi_{ipt} \le T\theta_t \qquad \forall t \qquad (۲۹)$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T}D_{kpt} < \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T}\chi_{ipt} \le \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T}Ca_{ipt} \qquad \forall p \qquad (۳۰)$$

$$\alpha_{ijpt}, \beta_{jkpt}, \chi_{ipt}, \gamma_{kpt} \ge 0, \quad \forall i, j, k, p, t \qquad (۳۱)$$

در مدل ریاضی ارایه شده زنجیره‌تامین سه سطحی می‌باشد، مدل به صورت چند دوره‌ای است، مدل به صورت چند محصولی می‌باشد، مدل برای چند ساختار طراحی شده است، مقدار تقاضا به تولیدکنندگان در آغاز دوره اختصاص داده شده است، طول مدت هر دوره برابر با مجموع زمان تولید می‌باشد، در ابتدا و انتهای برنامه‌ریزی هیچ موجودی در توزیع‌کننده وجود ندارد، محصولات قبل از تحویل به نمایندگی فروش به طور موقت در توزیع‌کننده‌ها ذخیره می‌شوند، ظرفیت‌های موجود شناخته شده است، حمل و نقل با ظرفیت ثابت در نظر گرفته شده است، به تمامی تقاضای مشتریان پاسخ داده نمی‌شود، کمبود مجاز است: هزینه‌های موجود در این مدل از جمله هزینه تولید، هزینه محصول، هزینه حمل و نقل، هزینه کمبود به صورت احتمالی در نظر گرفته شده است.

همان‌طور که گفته شد، مدل مفروض دارای پارامترهای احتمالی می‌باشد؛ مدل اولیه به صورت خطی می‌باشد ولی پس از تبدیل شدن پارامترهای قطعی به پارامترهای احتمالی مدل به صورت غیرخطی در می‌آید. در این تحقیق برای احتمالی کردن پارامترهای مدل، ابتدا با در نظر گرفتن یک توزیع نرمال با میانگین و واریانس معلوم، هر یک از هزینه‌های موجود به صورت یک تابع درآمدند و در انتها با استفاده از مدل مارکویتز، مدل قطعی با پارامترهای قطعی به مدل با رویکرد احتمالی تبدیل شده است.

۵ روش حل

همان‌طور که گفته شد، در این مقاله به مدل‌سازی و حل مساله برنامه‌ریزی یکپارچه تولید-توزیع در زنجیره تامین پرداخته شده و برای حل مدل از دو روش دقیق و فراابتکاری استفاده شده است و در انتها به مقایسه این دو روش می‌پردازیم. در این فصل، ابتدا اصول، تعریف‌ها و ساختار کلی مربوط به روش حل مورد بررسی قرار خواهد گرفت. سپس، ساختار پیشنهادی برای روش مذکور معرفی می‌گردد.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

برای روشن نمودن مراحل به‌کارگیری ژنتیک در این پژوهش، تنها جزییات برخی از خصوصیات مهم الگوریتم تشریح شده است. به طور خلاصه، قدم‌هایی که الگوریتم ژنتیک را شامل می‌شود به صورت شکل ۱ است:

***Begin*;**
Define $(P_c, P_m, nPop \ and \ nIter)$
For $(j = 1 to \ nIter)$

- ***Generate*** Chromosomes Q_{it}, Q'_{it} Randomly between Randomly Between $[0, D_{it}]$ and R_{it} Randomly between $[-D_{it}, D_{it}]$ and M_{it} Randomly between $[1, K]$.
- ***Evaluate*** Fitness For Each Chromosomes.
- BC=Best Chromosomes with minimum Fitness.
- ***Do*** Selection Process based on Roulette Wheel method.
- ***Generate*** r_1 between $[0,1]$

If $(P_c \le r_1)$

- ***Do*** Crossover Operator on each chromosome.

Else

- ***Do*** Mutation Operator on each chromosome.

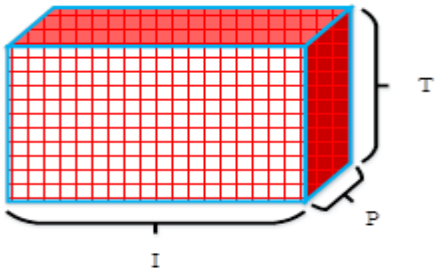
End
Do Elitism process
Update BC
End For
Return BC

شکل ۱. ساختار الگوریتم ژنتیک

اولین گام در پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک نمایش کروموزم است که نقش مهمی در موفقیت و عملکرد صحیح الگوریتم بازی می‌کند. همچنین یک کروموزم از الگوریتم می‌تواند نشان‌دهنده یک جواب یا بخشی از یک جواب باشد که با گذر نسل‌ها علاوه بر بهینگی از نظر برازش، از این حیث نیز تکامل یابد. فرم کلی پاسخ‌های مربوط به مدل ریاضی ارایه شده مستقل از اینکه از کدام روش حل استفاده می‌نماییم مشتمل بر سه ماتریس است تمرکز اصلی در این تحقیق برای حل مساله بر روی الگوریتم ژنتیک می‌باشد که در ادامه به توضیح و تفسیر عملگرهای آن‌ها خواهیم پرداخت. آنچه مسلم است در هر الگوریتم فراابتکاری با توجه به اینکه آن الگوریتم از کدام پدیده‌ی اجتماعی یا طبیعی الهام گرفته است به هر پاسخ تولید شده یک اسم اطلاق می‌شود به عنوان مثال در الگوریتم ژنتیک به هر جواب یک کروموزوم، در الگوریتم بهینه‌سازی حرکت ذرات یک ذره، در هارمونی یک نت و در رقابت استعماری نیز یک کشور می‌گویند؛ اما در این تحقیق ساختار جواب برای حل مدل ریاضی مربوط به صورت زیر است.

ماتریس اول ماتریس X است، همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود دارای ابعاد سه گانه I×P×T می‌باشد عناصر درون این ماتریس مقادیر متغیر X_{ipt} را نمایندگی می‌کنند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]



شکل ۲. نمایش ماتریس I×P×T

ماتریس دوم ماتریس α است که دارای ابعاد چهارگانه I×J×P×T می‌باشد عناصر درون این ماتریس مقادیر متغیر α_{ijpt} را نمایندگی می‌کنند.

ماتریس سوم ماتریسβ است که دارای ابعاد چهارگانه I×K×P×T می‌باشد عناصر درون این ماتریس مقادیر متغیر β_{ikpt} را نمایندگی می‌کنند.

بعد از تولید کروموزم، میزان برازندگی هر کروموزم تابع هدف محاسبه می‌شود.

ما دراین تحقیق برای سیاست انتخاب از مکانیزم چرخه‌ی رولت بهره برده‌ایم انتخاب چرخ رولت که اولین‌بار توسط هالند (۱۹۸۹) پیشنهاد شد یکی از مناسب‌ترین انتخاب‌های تصادفی بوده که ایده آن احتمال انتخاب[1] می‌باشد. در روش انتخاب چرخ رولت به این صورت عمل می‌شود که برای انتخاب هر کروموزوم ابتدا یک عدد تصادفی بین یک و صفر تولید شده و سپس عدد مذکور در هر بازه‌ای که قرار گرفت کروموزوم متناظر با آن انتخاب می‌شود؛ البته روش پیاده‌کردن چرخ رولت به این شکل است که یک دایره را در نظر گرفته و آن را به تعداد کروموزوم‌ها طوری تقسیم می‌کنیم که هر بخش متناظر با مقدار برازندگی کروموزوم مربوطه باشد. حال چرخ را چرخانده و هر کجا که چرخ متوقف شد به شاخص چرخ نگاه کرده، کروموزوم مربوط به آن بخش انتخاب می‌گردد.

برای انجام عملگر تقاطع ابتدا والدین انتخاب گشته سپس فرزندان با استفاده از عملگر تقاطع یکنواخت تولید می‌شوند. عملیات تقاطع بر روی همه ماتریس‌های موجود در کروموزوم‌های والد انجام می‌شود تا بدین صورت کرموزوم‌های فرزندان تشکیل گردد. در این عملگر به ازای هر ژن در کروموزوم والدین انتخابی یک عدد باینری صفر و یک به طور تصادفی تولید می‌شود که اگر این عدد یک باشد ژن مربوطه در کرومزوم‌های والدین با یکدیگر جابه‌جا می‌شود واگر صفر باشد جابه‌جایی صورت نمی‌گیرد.

عملیات جهش نیز بر روی هر درآیه از ماتریس موجود در کرموزوم انجام می‌شود. دراین عملگر پس از انتخاب والد مورد نظر به‌ازای هر ژن در کروموزوم والد عددی تصادفی بین صفر و یک تولید می‌شود و با نرخ جهش مشخص مقادیر ژن‌های کروموزوم والد مورد جهش قرارمی‌گیرند. حال در صورتی که عدد تصادفی تولید شده کوچک‌تر ار نرخ جهش مورد نظر باشد، ژن مربوط در کروموزوم والد به‌طور تصادفی مورد جهش قرار می‌گیرد؛ اما در صورتی که عدد تصادفی تولید شده بزرگ‌تر از نرخ جهش باشد، ژن مربوط در کروموزوم والد مورد جهش قرار نمی‌گیرد.

[1] Selection Probability

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

از آنجایی که نتایج الگوریتم‌های فراابتکاری به مقادیر پارامترهای ورودی آن‌ها وابسته است. در این بخش چگونگی تنظیم مقادیر پارامترهای الگوریتم ژنتیک پیشنهادشده را نمایش می‌دهیم. برای پیاده‌سازی رویه ارایه شده، طرح مرکزگرای مرکب مرکزی با 2^kنقطه عاملی، $2k$نقطه محوری و پنج نقطه مرکزی با تعداد فاکتورهای مربوط به خود در نظر گرفته شده است. تعداد فاکتورها برای ژنتیک برابر سه $(k=3)$، و هریک از آن‌ها دارای سه سطح پایین (Low)، متوسط (Medium) و بالا(High) می‌باشند که به ترتیب با (۱-)، (۰) و (۱+) نشان داده شده است. جدول ۲ بیانگر دامنه جستجوی سطوح پارامترهای ورودی الگوریتم می‌باشد. در طرح مرکب مرکزی دو پارامتر باید در نظر گرفته شود: (۱) فاصله α نقاط محوری از مرکز طرح و (۲) تعداد اجراهای مرکزی. مقدار پارامتر α بستگی به خاصیت کروی طرح‌ها دارد. از آنجایی‌که ناحیه مورد نظر به‌صورت مکعبی می‌باشد، طرح مرکزگرای مرکب مرکزی با $\alpha=1$ مورد استفاده قرار گرفته است:

جدول ۲. کران های بالا و پایین پارامترهای ژنتیک

پارامتر	حد بالا	حد پایین
Npop	۵۰	۱۰۰
Pc	۰/۶	۰/۹
Pm	۰/۱	۰/۳

جدول ۳ نتایج تحلیل واریانس را در نرم‌افزار Minitab16 نشان داده و بیانگر این است که تابع رگرسیون مناسب برای پیاده‌سازی RSM هستند (معادله ۳۲). بدین‌منظور در ادامه برای دستیابی به خروجی بهینه پارامترهای ورودی الگوریتم‌ها، روابط رگرسیونی درون محدوده آن پارامترهای ورودی با استفاده از نرم‌افزار لینگو به‌دست آمده است.

جدول ۳. آنالیز واریانس برای پارامترهای ژنتیک

Source	F	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression		۰/۷۷۶۱۹	۰/۷۷۶۱۹۱	۰/۰۸۶۲۴۳	۲/۳۳	۰/۱۰۲
Linear		۰/۶۱۲۳۱	۰/۱۰۳۸۲۲	۰/۰۳۴۶۰۷	۰/۹۳	۰/۴۶۰
Npop		۰/۰۰۳۴۰	۰/۰۴۶۳۱۴	۰/۰۴۶۳۱۴	۱/۲۵	۰/۲۹۰
Pc		۰/۰۷۷۰۴	۰/۰۰۰۲۴۸	۰/۰۰۰۲۴۸	۰/۰۱	۰/۹۳۶
Pm		۰/۵۳۱۸۷	۰/۰۲۹۲۷۱	۰/۰۲۹۲۷۱	۰/۷۹	۰/۳۹۵
Square		۰/۱۰۱۱۳	۰/۱۰۱۱۳۲	۰/۰۳۳۷۱۱	۰/۹۱	۰/۴۷۰
npop*npop		۰/۰۹۵۱۴	۰/۰۷۸۶۱۵	۰/۰۷۸۶۱۵	۲/۱۲	۰/۱۷۶
pc*pc		۰/۰۰۴۶۷	۰/۰۰۲۴۷۴	۰/۰۰۲۴۷۴	۰/۰۷	۰/۸۰۱
pm*pm		۰/۰۰۱۳۲	۰/۰۰۱۳۱۸	۰/۰۰۱۳۱۸	۰/۰۴	۰/۸۵۴
Interaction		۰/۰۶۲۷۵	۰/۰۶۲۷۵۳	۰/۰۲۰۹۱۸	۰/۵۶	۰/۶۵۰
npop*pc		۰/۰۰۲۹۰	۰/۰۰۲۸۹۹	۰/۰۰۲۸۹۹	۰/۰۸	۰/۷۸۵
npop*pm		۰/۰۰۰۶۷	۰/۰۰۰۶۷۴	۰/۰۰۰۶۷۴	۰/۰۲	۰/۸۹۵
pc*pm		۰/۰۵۹۱۸	۰/۰۵۹۱۸۰	۰/۰۵۹۱۸۰	۱/۶۰	۰/۲۳۵
Residual		۱۰	۰/۳۷۰۲۹	۰/۳۷۰۲۸۷	۰/۰۳۷۰۲۹	
Lack-of-Fit		۰/۳۰۵۵۸	۰/۳۰۵۵۸۰	۰/۰۶۱۱۱۶	۴/۷۲	۰/۰۵۷
Pure		۵	۰/۰۶۴۷۱	۰/۰۶۴۷۰۶	۰/۰۱۲۹۴۱	
Total	۹	۱/۱۴۶۴۸				

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

$$\begin{aligned}\text{MinCost} =& ۳/۳۸۰۹۹ - ۰/۰۳۵۳۰۰۲ * npop + ۰/۶۴۸۳۶۴ * Pc - ۵/۴۵۵۵۶ * Pm + \\ & * ۰/۰۰۰۲۷۰۵۲۴npop * npop - ۱/۳۳۳۰۷ * Pc * Pc - ۲/۱۸۹۴۸ * Pm * Pm - \\ & * Pm * Pc۵/۷۳۳۹۴ * npop * Pc + ۰/۰۰۵۰۷۶۰۷ * npop * Pm - ۰/۰۰۳۶۷۰۹۸ \end{aligned} \quad (۳۲)$$

$$۵۰ \le npop \le ۱۰۰$$

$$۰/۶ \le pc \le ۰/۹$$

$$۰/۱ \le pm \le ۰/۳$$

$$Npop = int$$

بنابراین پس از حل مدل فوق با نرم‌افزار لینگو، مقدار بهینه پارامترها به شرح جدول ۴ است:

جدول ٤ . مقدار پارامترهای ژنتیک بعد از تنظیم پارامتر

پارامتر	مقدار مطلوب
Npop	۷۶
Pc	۰/۹
Pm	۰/۳

٦ مثال عددی

برای پیاده‌سازی مدل ریاضی ارایه شده در این تحقیق در این قسمت به ارایه یک مثال عددی می‌پردازیم. به طوری که مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز تولیدکننده که با اندیس i مورد بررسی قرار می‌گیرد برابر دو $(i=۲)$، مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز توزیع‌کننده برابر سه $(j=۳)$، مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز فروش(مشتریان) برابر با چهار $(k=۴)$، مجموعه محصولات برابر دو $(p=۲)$ و تعداد دوره‌ها برابر با سه $(t=۳)$ در نظر گرفته شده است. پارامترهای مدل ریاضی ارایه شده در این مثال عددی به صورت ماتریسی معرفی می‌شود دراین راستا میانگین هزینه تولید هر محصول برای هر تولیدکننده و در هر دوره ($\mu_{\rho_{ipt}}$) به صورت زیر می‌باشد:

$$\mu_{\rho_{ip,t=۱}} = \begin{bmatrix} ۱۷ & ۱۰ \\ ۱۷ & ۱۰ \end{bmatrix}, \mu_{\rho_{ip,t=۲}} = \begin{bmatrix} ۱۰ & ۱۱ \\ ۱۳ & ۱۴ \end{bmatrix}, \mu_{\rho_{ip,t=۳}} = \begin{bmatrix} ۱۳ & ۱۹ \\ ۲۰ & ۱۴ \end{bmatrix}$$

واریانس هزینه هر محصول برای هر توزیع‌کننده و در هر دوره ($\sigma^{۲}_{\Gamma_{jpt}}$) برابر است با :

$$\sigma^{۲}_{\rho_{ip,t=۱}} = \begin{bmatrix} ۴/۳ & ۴/۷ \\ ۲/۱ & ۴/۹ \end{bmatrix}, \sigma^{۲}_{\rho_{ip,t=۲}} = \begin{bmatrix} ۴/۶ & ۳/۵ \\ ۳/۲ & ۱/۶ \end{bmatrix}, \sigma^{۲}_{\rho_{ip,t=۳}} = \begin{bmatrix} ۱/۵ & ۱/۴ \\ ۴/۸ & ۴/۹ \end{bmatrix}$$

میانگین هزینه هر محصول برای هر توزیع‌کننده و در هر دوره ($\mu_{\Gamma_{jpt}}$) به صورت زیر می‌باشد:

$$\mu_{\Gamma_{jp,t=۱}} = \begin{bmatrix} ۱۰ & ۵ \\ ۱۷ & ۵ \\ ۹ & ۷ \end{bmatrix}, \mu_{\Gamma_{jp,t=۲}} = \begin{bmatrix} ۷ & ۷ \\ ۱۰ & ۱۰ \\ ۹ & ۸ \end{bmatrix}, \mu_{\Gamma_{jp,t=۳}} = \begin{bmatrix} ۹ & ۱۰ \\ ۸ & ۱۰ \\ ۹ & ۶ \end{bmatrix}$$

واریانس هزینه هر محصول برای هر توزیع‌کننده و در هر دوره ($\sigma^{۲}_{\Gamma_{jpt}}$) برابر است با :

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

$$\sigma^{۲}_{\Gamma_{jp,t=۱}}=\begin{bmatrix}۲/۶ & ۲/۸\\ ۱/۶ & ۲/۹\\ ۲/۹ & ۱/۳\end{bmatrix},\sigma^{۲}_{\Gamma_{jp,t=۲}}=\begin{bmatrix}۲/۸ & ۲/۳\\ ۲/۱ & ۱/۳\\ ۲/۰ & ۱/۸\end{bmatrix},\sigma^{۲}_{\Gamma_{jp,t=۳}}=\begin{bmatrix}۱/۳ & ۱/۲\\ ۲/۹ & ۲/۹\\ ۲/۰ & ۲/۸\end{bmatrix}$$

میانگین و واریانس هزینه حمل‌ونقل هر محصول از تولیدکننده‌ها به توزیع‌کننده‌ها در دوره‌های مختلف (υ_{ijpt}) به شرح زیر است:

$$\mu_{\upsilon_{ij,p=۱,t=۱}}=\begin{bmatrix}۵ & ۱ & ۳\\ ۲ & ۴ & ۱\end{bmatrix},\mu_{\upsilon_{ij,p=۱,t=۲}}=\begin{bmatrix}۵ & ۱ & ۳\\ ۳ & ۴ & ۵\end{bmatrix},\mu_{\upsilon_{ij,p=۱,t=۳}}=\begin{bmatrix}۴ & ۳ & ۱\\ ۱ & ۳ & ۳\end{bmatrix}$$

$$\mu_{\upsilon_{ij,p=۲,t=۱}}=\begin{bmatrix}۴ & ۴ & ۲\\ ۴ & ۱ & ۵\end{bmatrix},\mu_{\upsilon_{ij,p=۲,t=۲}}=\begin{bmatrix}۲ & ۵ & ۱\\ ۲ & ۲ & ۱\end{bmatrix},\mu_{\upsilon_{ij,p=۲,t=۳}}=\begin{bmatrix}۳ & ۱ & ۴\\ ۴ & ۵ & ۳\end{bmatrix}$$

$$\sigma^{۲}_{\upsilon_{ij,p=۱,t=۱}}=\begin{bmatrix}۰/۹۰ & ۰/۸۴ & ۰/۸۵\\ ۰/۸۵ & ۰/۸۸ & ۰/۸۵\end{bmatrix},\sigma^{۲}_{\upsilon_{ij,p=۱,t=۲}}=\begin{bmatrix}۰/۹۸ & ۰/۸۸ & ۰/۵۲\\ ۰/۶۶ & ۰/۹۰ & ۰/۸۸\end{bmatrix}$$

$$\sigma^{۲}_{\upsilon_{ij,p=۱,t=۳}}=\begin{bmatrix}۰/۸۳ & ۰/۸۷ & ۰/۶۴\\ ۰/۹۸ & ۰/۵۹ & ۰/۶۴\end{bmatrix},\sigma^{۲}_{\upsilon_{ij,p=۲,t=۱}}=\begin{bmatrix}۰/۵۲ & ۰/۷۰ & ۰/۵۲\\ ۰/۵۲ & ۰/۷۴ & ۰/۸۴\end{bmatrix}$$

$$\sigma^{۲}_{\upsilon_{ij,p=۲,t=۲}}=\begin{bmatrix}۰/۹۲ & ۰/۸۳ & ۰/۵۵\\ ۰/۷۲ & ۰/۷۲ & ۰/۸۳\end{bmatrix},\sigma^{۲}_{\upsilon_{ij,p=۲,t=۳}}=\begin{bmatrix}۰/۹۷ & ۰/۵۹ & ۰/۹۱\\ ۰/۶۹ & ۰/۸۲ & ۰/۵۸\end{bmatrix}$$

میانگین و واریانس هزینه حمل‌ونقل هر محصول از توزیع‌کننده‌ها به نمایندگی‌های فروش در دوره‌های مختلف ($\tilde{\upsilon}_{jkpt}$) به شرح زیر است:

$$\mu_{\tilde{\upsilon}_{jk,p=۱,t=۱}}=\begin{bmatrix}۱ & ۱ & ۱ & ۳\\ ۳ & ۳ & ۲ & ۲\\ ۳ & ۱ & ۳ & ۲\end{bmatrix},\mu_{\tilde{\upsilon}_{jk,p=۱,t=۲}}=\begin{bmatrix}۵ & ۲ & ۲ & ۱\\ ۱ & ۱ & ۵ & ۳\\ ۱ & ۱ & ۲ & ۴\end{bmatrix}$$

$$\mu_{\tilde{\upsilon}_{jk,p=۱,t=۳}}=\begin{bmatrix}۱ & ۲ & ۱ & ۵\\ ۲ & ۵ & ۲ & ۱\\ ۲ & ۴ & ۴ & ۴\end{bmatrix},\mu_{\tilde{\upsilon}_{jk,p=۲,t=۱}}=\begin{bmatrix}۴ & ۵ & ۱ & ۴\\ ۱ & ۵ & ۱ & ۱\\ ۲ & ۴ & ۱ & ۱\end{bmatrix}$$

$$\mu_{\tilde{\upsilon}_{jk,p=۲,t=۲}}=\begin{bmatrix}۵ & ۳ & ۵ & ۲\\ ۱ & ۳ & ۴ & ۵\\ ۵ & ۴ & ۴ & ۵\end{bmatrix},\mu_{\tilde{\upsilon}_{jk,p=۲,t=۳}}=\begin{bmatrix}۵ & ۵ & ۳ & ۳\\ ۲ & ۳ & ۲ & ۵\\ ۱ & ۳ & ۱ & ۴\end{bmatrix}$$

$$\sigma^{۲}_{\tilde{\upsilon}_{jk,p=۱,t=۱}}=\begin{bmatrix}۰/۹۹ & ۰/۷۱ & ۰/۷۹ & ۰/۹۹\\ ۰/۹۴ & ۰/۶۶ & ۰/۷۴ & ۰/۶۶\\ ۰/۹۸ & ۰/۷۱ & ۰/۷۶ & ۰/۹۸\end{bmatrix}$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

$$\sigma^{۲}_{\tilde{\upsilon}_{jk,p=۱,t=۲}}=\begin{bmatrix}۰/۵۸ & ۰/۷۴ & ۰/۶۳ & ۰/۸۷\\ ۰/۹۱ & ۰/۵۸ & ۰/۸۵ & ۰/۷۷\\ ۰/۷۷ & ۰/۵۵ & ۰/۷۳ & ۰/۶۲\end{bmatrix}$$

$$\sigma^{۲}_{\tilde{\upsilon}_{jk,p=۱,t=۳}}=\begin{bmatrix}۰/۹۳ & ۰/۵۶ & ۰/۶۵ & ۰/۶۷\\ ۰/۶۳ & ۰/۵۹ & ۰/۸۵ & ۰/۸۳\\ ۰/۶۶ & ۰/۶۳ & ۰/۹۴ & ۰/۸۴\end{bmatrix}$$

$$\sigma^{۲}_{\tilde{\upsilon}_{jk,p=۲,t=۱}}=\begin{bmatrix}۰/۸۲ & ۰/۷۹ & ۰/۸۱ & ۰/۷۹\\ ۰/۸۰ & ۰/۷۱ & ۰/۸۲ & ۰/۷۰\\ ۰/۵۵ & ۰/۵۸ & ۰/۷۶ & ۰/۶۴\end{bmatrix}$$

$$\sigma^{۲}_{\tilde{\upsilon}_{jk,p=۲,t=۲}}=\begin{bmatrix}۰/۶۹ & ۰/۶۱ & ۰/۶۳ & ۰/۵۵\\ ۰/۵۱ & ۰/۵۵ & ۰/۵۲ & ۰/۹۱\\ ۰/۸۱ & ۰/۶۴ & ۰/۹۷ & ۰/۸۴\end{bmatrix}$$

$$\sigma^{۲}_{\tilde{\upsilon}_{jk,p=۲,t=۳}}=\begin{bmatrix}۰/۶۰ & ۰/۶۹ & ۰/۹۱ & ۰/۹۵\\ ۰/۷۱ & ۰/۸۰ & ۰/۵۳ & ۰/۸۶\\ ۰/۸۹ & ۰/۷۲ & ۰/۸۲ & ۰/۸۵\end{bmatrix}$$

میانگین و واریانس هزینه کمبود برای هر محصول در نمایندگی‌های فروش در طول هر دوره (S_{kpt}) عبارت است از:

$$\mu_{S_{kp,t=۱}}=\begin{bmatrix}۱۹۹ & ۱۳۷\\ ۱۳۴ & ۱۰۵\\ ۱۴۲ & ۱۴۲\\ ۱۷۰ & ۱۷۰\end{bmatrix},\mu_{S_{kp,t=۲}}=\begin{bmatrix}۱۱۶ & ۱۲۰\\ ۱۹۶ & ۱۷۴\\ ۱۵۵ & ۱۹۹\\ ۱۶۷ & ۱۶۷\end{bmatrix},\mu_{S_{kp,t=۳}}=\begin{bmatrix}۱۱۰ & ۱۴۹\\ ۱۹۲ & ۱۲۷\\ ۱۹۵ & ۱۳۰\\ ۱۵۴ & ۱۱۷\end{bmatrix}$$

$$\sigma^{۲}_{S_{kp,t=۱}}=\begin{bmatrix}۱۱ & ۱۷\\ ۱۸ & ۱۶\\ ۱۰ & ۱۵\\ ۱۸ & ۱۲\end{bmatrix},\sigma^{۲}_{S_{kp,t=۲}}=\begin{bmatrix}۱۳ & ۱۸\\ ۱۷ & ۱۴\\ ۱۵ & ۱۸\\ ۱۵ & ۱۷\end{bmatrix},\sigma^{۲}_{S_{kp,t=۳}}=\begin{bmatrix}۱۲ & ۱۳\\ ۱۰ & ۱۹\\ ۱۴ & ۱۳\\ ۱۰ & ۱۵\end{bmatrix}$$

میانگین و واریانس ظرفیت کل ذخیره‌سازی فروشنده‌ها در هر دوره (U_{kt}) به‌صورت زیر تعیین شده است:

$$U_{kt}=\begin{bmatrix}۷۷۰ & ۹۳۵ & ۶۳۲\\ ۶۵۹ & ۵۵۹ & ۹۷۰\\ ۸۲۳ & ۷۴۰ & ۸۲۰\\ ۷۷۲ & ۸۲۴ & ۷۷۲\end{bmatrix}$$

مقدار تقاضای فروشندگان از محصولات در هر دوره (D_{kpt}) به صورت زیر تعیین شده است:

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

$$D_{kp,t=۱}=\begin{bmatrix}۲۴ & ۲۶\\ ۲۱ & ۲۰\\ ۳۰ & ۲۹\\ ۳۰ & ۳۳\end{bmatrix}, D_{kp,t=۲}=\begin{bmatrix}۲۲ & ۲۸\\ ۲۵ & ۳۹\\ ۳۲ & ۴۰\\ ۲۴ & ۳۴\end{bmatrix}, D_{kp,t=۳}=\begin{bmatrix}۲۶ & ۳۰\\ ۳۶ & ۳۵\\ ۲۴ & ۳۱\\ ۳۰ & ۲۸\end{bmatrix}$$

مقدار ظرفیت کل ذخیره‌سازی توزیع‌کنندگان در هر دوره (V_{jt}) برابر است با :

$$V_{jt}=\begin{bmatrix}۱۳۵۹ & ۱۷۳۷ & ۱۳۹۵\\ ۱۶۸۴ & ۱۷۰۴ & ۱۴۴۲\\ ۱۰۱۹ & ۱۳۳۱ & ۱۴۲۴\end{bmatrix}$$

زمان مورد نیاز برای تولید محصولات توسط تولیدکنندگان در هر دوره (θ_{ipt}) به صورت ماتریس‌های زیر تعیین شده است:

$$\theta_{ip,t=۱}=\begin{bmatrix}۷ & ۸\\ ۶ & ۶\end{bmatrix}, \theta_{ip,t=۲}=\begin{bmatrix}۱۰ & ۸\\ ۶ & ۱۰\end{bmatrix}, \theta_{ip,t=۳}=\begin{bmatrix}۱۰ & ۸\\ ۷ & ۶\end{bmatrix}$$

زمان کل تولید در طول هر دوره برابر است با :

$$T\theta_t=\begin{bmatrix}۱۲۰۰۰ & ۱۱۰۰۰ & ۱۳۰۰۰\end{bmatrix}$$

ظرفیت تولید تولیدکننده برابر است با:

$$Ca_{ip,t=۱}=\begin{bmatrix}۱۴۱ & ۱۴۶\\ ۱۱۴ & ۱۴۹\end{bmatrix}, Ca_{ip,t=۲}=\begin{bmatrix}۱۴۶ & ۱۳۲\\ ۱۲۷ & ۱۰۸\end{bmatrix}, Ca_{ip,t=۳}=\begin{bmatrix}۱۰۶ & ۱۰۴\\ ۱۴۸ & ۱۴۹\end{bmatrix}$$

و در نهایت ضریب ریسک (λ) در این مثال برابر ۰/۰۰۵ در نظر گرفته شد.

مثال فوق با استفاده از نرم‌افزار لینگو حل می‌شود و نتایج آن به صورت زیر قابل ارایه می‌باشد. با توجه به اینکه مساله‌ی مورد بررسی در دسته‌ی quadratic programming می‌باشد؛ لذا از solver های مختص این مسایل در نرم‌افزار لینگو استفاده می‌شود. مقدار تابع هدف پس از حل مساله برابر با ۱۳۳۳۱/۸ می‌شود و متغیرهای بهینه مساله به ازای پارامترهای معرفی شده در جداول ۵ تا ۷ آمده است. حل مثال فوق با استفاده از الگوریتم ژنتیک به نتایج مشابهی منجر شد. نمودار همگرایی الگوریتم ژنتیک در شکل ۳ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۵. مقادیر تولید محصولات

x_{ipt}	$t=۱$		$t=۲$		$t=۳$	
	$p=۱$	$p=۲$	$p=۱$	$p=۲$	$p=۱$	$p=۲$
$i=۱$	۳۳/۲۶	۵۵/۸۱۷	۷۹/۷۴	۱۰۴/۴۲۴	۱۰۶	۱۸/۱۵۸
$i=۲$	۷۱/۷۴	۵۲/۱۸۳	۲۳/۲۶	۳۶/۵۷۶	۱۰	۱۰۵/۸۴۲

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

جدول ٦. مقادیر حمل و نقل محصولات از تولید کننده‌ها به توزیع کننده‌ها

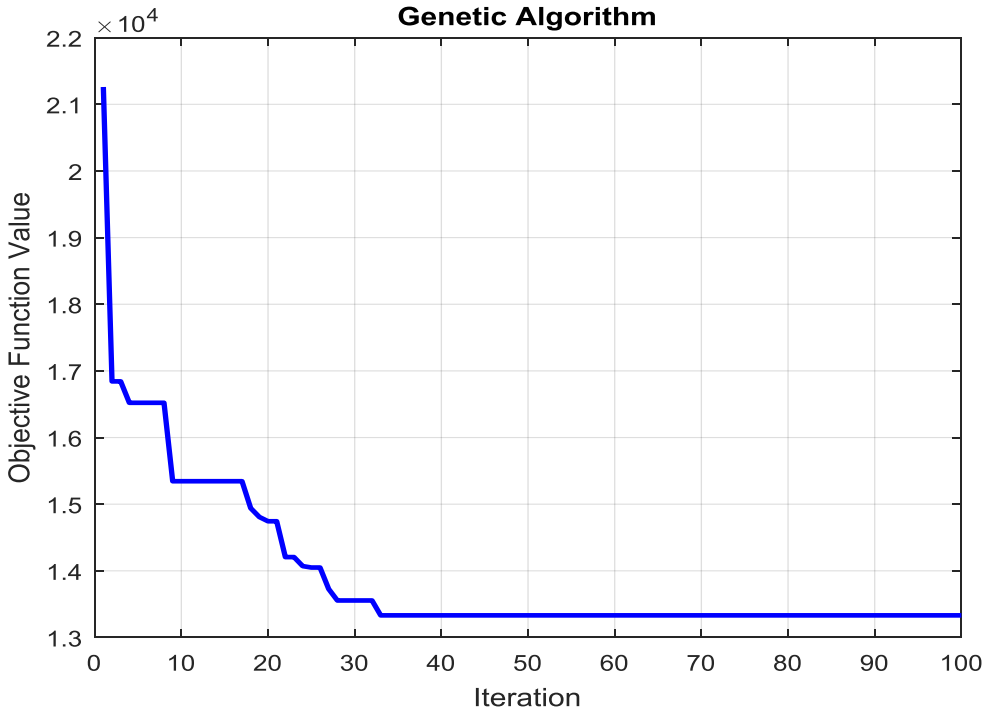
α_{ijpt}	$t=۱$			$t=۲$			$t=۳$		
$p=۱$	$j=۱$	$j=۲$	$j=۳$	$j=۱$	$j=۲$	$j=۳$	$j=۱$	$j=۲$	$j=۳$
$i=۱$	۰	۱۱۶	۰	۱۰۳	۰	۰	۰	۰	۰
$i=۲$	۰	۰	۱۰۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
α_{ijpt}	$t=۱$			$t=۲$			$t=۳$		
$p=۲$	$j=۱$	$j=۲$	$j=۳$	$j=۱$	$j=۲$	$j=۳$	$j=۱$	$j=۲$	$j=۳$
$i=۱$	۰	۰	۱۲۰	۴۸/۹۳۲	۰	۹/۴۶۷	۰	۰	۰
$i=۲$	۷	۱۰۱	۰	۷۲/۰۶۸	۰	۱۴/۵۳۳	۰	۰	۰

جدول ۷. مقادیر حمل و نقل محصولات از توزیع‌کننده‌ها به نمایندگی‌های فروش

B_{jkpt}	$t=۱$				$t=۲$				$t=۳$			
$p=۱$	$k=۱$	$k=۲$	$k=۳$	$k=۴$	$k=۱$	$k=۲$	$k=۳$	$k=۴$	$k=۱$	$k=۲$	$k=۳$	$k=۴$
$j=۱$	۰	۰	۰	۰	۲۲	۲۵	۳۲	۲۴	۰	۰	۰	۰
$j=۲$	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۶	۳۶	۲۴	۳۰
$j=۳$	۲۴	۲۱	۳۰	۳۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
B_{jkpt}	$t=۱$				$t=۲$				$t=۳$			
$p=۲$	$k=۱$	$k=۲$	$k=۳$	$k=۴$	$k=۱$	$k=۲$	$k=۳$	$k=۴$	$k=۱$	$k=۲$	$k=۳$	$k=۴$
$j=۱$	۰	۰/۲۴۱	۶/۷۵۹	۰	۲۸	۳۹	۲۰	۳۴	۰	۰	۰	۰
$j=۲$	۲۶	۱۹/۷۵۹	۲۲/۲۴۱	۳۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
$j=۳$	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۰	۳۵	۳۱	۲۸

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]



شکل ۳. نمودار همگرایی الگوریتم ژنتیک

مساله ارایه شده با به کارگیری دو رویکرد دقیق و الگوریتم ژنتیک و با ارایه ۱۱ مثال حل شده است و پس از آن نتایج حاصل را، از این دو روش مورد مقایسه قرار می‌دهیم. همان‌طور که مشاهده می‌شود در جدول ۸ مقادیر تابع هدف مشخص شده است. در تمامی مسایل الگوریتم ژنتیک موفق شده است که به جواب به‌دست آمده از روش دقیق برسد که نشان دهنده‌ی اعتبار جواب‌های به‌دست آمده از این روش می‌باشد.

جدول ۸. نتایج حاصل از حل مساله به روش‌های دقیق و الگوریتم ژنتیک

No.	λ	Exact approach	Genetic Algorithm
۱	۰/۰۰۵	۱۳۳۳۱/۸۰	۱۳۳۳۱/۸۰
۲	۰/۰۰۶	۱۲۵۱۹/۸۸	۱۲۵۱۹/۸۸
۳	۰/۰۰۷	۱۱۶۹۰/۳۴	۱۱۶۹۰/۳۴
۴	۰/۰۰۸	۱۰۸۴۹/۷۷	۱۰۸۴۹/۷۷
۵	۰/۰۰۹	۱۰۰۰۱/۸۳	۱۰۰۰۱/۸۳
۶	۰/۰۱۰	۹۱۴۹/۱۶۱	۹۱۴۹/۱۶۱
۷	۰/۰۱۱	۸۲۹۱/۰۰۸	۸۲۹۱/۰۰۸
۸	۰/۰۱۲	۷۴۳۳/۹۹۹	۷۴۳۳/۹۹۹
۹	۰/۰۱۳	۶۵۶۵/۹۶۸	۶۵۶۵/۹۶۸
۱۰	۰/۰۱۴	۵۷۰۰/۰۱۴	۵۷۰۰/۰۱۴
۱۱	۰/۰۱۵	۴۸۳۲/۳۷۰	۴۸۳۲/۳۷۰

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

۷ نتیجه‌گیری

در این تحقیق به مدل‌سازی و حل یک رویکرد احتمالی برای یک مدل بهینه‌سازی ریاضی در زنجیره‌تامین چند سطحی با در نظر گرفتن سیستم یکپارچه تولید-توزیع با استفاده از مدل مارکویتز پرداخته‌ایم. تابع هدف مدل کمینه‌سازی هزینه‌های موجود است. مساله مورد بررسی در این تحقیق شامل سه سطح تولیدکننده، توزیع‌کننده و مراکز فروش است که در آن به توزیع و ارسال کالاها پرداخته شده است. برای نزدیکی مساله به مسایل دنیای واقعی، برخی از پارامترهای مدل (هزینه های موجود) به‌صورت احتمالی در نظر گرفته شده‌اند.

به طور کلی نشان داده‌ایم که برای تبدیل مدل قطعی با پارامترهای قطعی به مدل احتمالی با پارامترهای احتمالی می‌توان از روش مارکویتز استفاده کرد و در نهایت مدل موجود با استفاده از دو روش دقیق و فراابتکاری حل شده است. با توجه به نتایج و یافته‌های این تحقیق و مواردی که مورد بررسی قرار گرفت، می‌توان پیشنهادهایی را برای تحقیقات آتی و در ارتباط با مساله مطرح شده در این تحقیق ارایه داد. برخی از این پیشنهادها به شرح زیر می‌باشند. به عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آتی می‌توان برای کمینه‌سازی هزینه‌ها، هزینه‌های نگهداری، هزینه مسافت بین مراکز تسهیلات و هزینه سفارش‌دهی قطعه را، از تامین‌کننده خارجی محاسبه کرد. می‌توان از سیاست‌های تخفیف که در این تحقیق استفاده نشده همچون تخفیف نموی ، کلی نموی، تجاری و بسته‌بندی برای مساله مطرح شده در این تحقیق با به کار بردن اهداف و محدودیت‌های این تحقیق استفاده نمود و در نهایت از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مدل استفاده کرد. با در نظر گرفتن مکان‌یابی می‌توان مدل ریاضی ارایه شده را به مساله مکان‌یابی، مسیریابی، موجودی، قیمت‌گذاری تبدیل نمود. همچنین در نظر گرفتن فساد نسبت به زمان، یک فرض ایده‌آل برای توسعه مدل می‌باشد.

منابع

[۱۹] تیموری،الف.حافظ الکتب،الف.، (۱۳۸۷)، طراحی شبکه تامین چند محصولی با استفاده از برنامه ریزی غیرخطی دوهدفه و به‌کارگیری روش AHP : مطالعه موردی شبکه لجستیک خودرو، فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی،۴۷،۲۰۴-۱۶۹.

[۲۰] بشیری،م. شرافتی،م.، (۱۳۹۲)، طراحی دوهدفه شبکه زنجیره‌تامین حلقه بسته با در نظر گرفتن معیارهای همبسته در محیط فازی،نشریه پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم های تولید، ۱، ۳۶– ۲۵.

[1] Weber, C.A. Current, J.R., (1993), A multi-objective approach to vendor selection, European Journal of Operational Research, 68, 173–184.

[2] Jayaraman, V., (1999), A multi-objective logistics model for a capacitated service facility problem, International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 29 (1), 65–81.

[3] Weber, C.A. Current, J. Desai, A., (2000), An optimization approach to determining the number of vendors to employ, Supply Chain Management: An International Journal, 5 (2), 90–98.

[4] Lakhal, S. Martel, A. Kettani, O. Ora, M., (2001), Theory and Methodology On the optimization of supply chain networking decisions, European Journal of Operational Research, 129, 259-270.

[5] Zhou, G. Min, H. Gen, M., (2003), A genetic algorithm approach to the bi-criteria allocation of customers to warehouses, International Journal of Production Economics, 86, 35–45.

[6] Chen, C. Lee, W.,(2004), Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices, Computers and Chemical Engineering, 28, 1131–1144.

[7] Spitter, J.M. Hurkens, C.A.J. De Kok, A.G. Lenstra, J.K.Negenman, E.G., (2005), Linear programming models with planned lead times for supply chain operations planning, European Journal of Operational Research,163, 706–720.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]

[8] Altiparma, F. Gen, M. Lin, L. Paksoy, T., (2006), A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks, Computers & Industrial Engineering , 51, 196–215.
[9] Shen, Z-JM. Qi, L., (2007), Incorporating inventory and routing costs in strategic location models, European Journal of Operational Research,10, 372–89.
[10] Pokharel, S., (2008), A two objective model for decision making in a supply chain, Int. J. Production Economics,111, 378–388.
[11] Chen, Z.L. Vairaktarakis, GL., (2009), Integrated scheduling of production and distribu- tion operations, Management Science, 51, 614–628.
[12] Bilgen, B., (2010), Application of fuzzy mathematical programming approach to the production allocation and distribution supply chain network problem, Expert Systems with Applications,37, 4488–4495.
[13] Kabak, Ö. Ülengin, F., (2011), Possibilistic linear-programming approach for supply chain networking decisions, European Journal of Operational Research, 209, 253–264.
[14] Cardona, Y. Álvarez, A. Ozdemir, D., (2011), A bi-objective supply chain design problem with uncertainty, Transportation Research, Part C 19, 821–832.
[15] Pishvaee, M. Razmi, J., (2012), Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming, Applied Mathematical Modelling,36, 3433–3446.
[16] Paksoy, T. Pehlivan, N., (2012), A fuzzy linear programming model for the optimization of multi-stage supply chain networks with triangular and trapezoidal membership functions, Journal of the Franklin Institute,349 , 93–109.
[17] Liu, S. Papageorgiou, L., (2013), Multiobjectiveoptimisation of production, distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry, Omega, 41, 369–382.
[18] Valdés, Y. Álvarez, A. Pacheco, J., (2014), Metaheuristic procedure for a bi-objective supply chain design problem with uncertainty, Transportation Research, Part B 60, 66–84.
[21] Williams, A., Kennedy, S., Philipp, F., Whiteman, G., (2017). Systems thinking: A review of sustainability management research, Journal of Cleaner Production, 148, 866–881.
[22] Govindan, K., Fattahi, M., Keyvanshokooh, E., (2017). Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions, European Journal of Operational Research, 236, 108-141.
[23] Barbosa-Póvoa, A., Silva, C., Carvalho, A., (2018). Opportunities and Challenges in Sustainable Supply Chain: An Operations Research Perspective, European Journal of Operational Research, 268(2), 399-431.
[24] Chopra,S., & Meindle, P. (2013). Supply Chain Management: Strategy, planning and operation, journal of purchasing & supply management, 19, 212-213.
[25] Xu, J., Liu, Q., Wang, R. (2008). A class of multi-objective supply chain networks optimal model under random fuzzy environment and its application to the industry of Chinese liquor, Information Sciences, 178 (8), 2022-2043.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.3.8.1]