



## توسعه و بهبود مدل‌های کنترل موجودی کالاهای فاسد شدنی در زنجیره تأمین سه سطحی با شرط لجستیک به‌هنگام

عیسی نخعی کمال آبادی<sup>۱</sup>  
صلاح الدین قسیمي<sup>۲</sup>  
رضا قدسی<sup>۳</sup>

### چکیده

در این تحقیق سه مدل جدید کنترل موجودی سه سطحی برای اقلام فساد پذیر با در نظر گرفتن فلسفه لجستیک به‌هنگام به منظور دستیابی به مقدار بهینه هزینه کل زنجیره عرضه شامل هزینه های تولید، هزینه های حمل، هزینه‌های نگهداری، هزینه های عدم تحویل به‌موقع (هزینه های دیر کرد و زود کرد)، هزینه کالاهای فاسد شدنی ارائه شده است.

مدل اول به گونه‌ای طراحی شده است که علاوه بر به حداقل رساندن هزینه‌ها، کل کالاها در زمان مصرفشان به‌دست مشتری می‌رسند و هیچ‌گونه کالای فاسد شدنی نخواهیم داشت (این مدل برای سیستم‌های ایده‌آل طراحی شده است). مدل دوم طوری طراحی شده است که علاوه بر به حداقل رساندن هزینه‌ها اگر مقداری از کالاها در زمان مصرفشان به‌دست مشتری نرسند با توجه به اینکه کل کالاهای مدل دارای تاریخ انقضاء می‌باشند و در نتیجه فاسد می‌شوند، هزینه این کالاها ی فاسد شده را نیز به تابع هدف، اضافه کرده و آنها را به حداقل می‌رساند (این مدل برای سیستم‌هایی که در حالت واقعی کار می‌کنند طراحی شده است). مدل سوم برای بهبود مدل دوم طراحی شده است و طوری عمل می‌کند که علاوه بر به حداقل رساندن هزینه‌ها، برای جلوگیری از فاسد شدن کالاها یک مدت زمان کمی قبل از به پایان رسیدن تاریخ مصرف کالاهایی که به‌فروش نرسیده‌اند، آنها را با تخفیف ویژه به‌فروش رساند تا هزینه‌ها به حداقل برسند و هزینه‌های ناشی از مقدار تخفیف داده شده را به تابع هدف اضافه کرده و آنها را نیز به حداقل می‌رساند.

هر سه مدل ارائه شده جدید می‌باشند، و برای تأیید صحت عملکرد مدل‌ها از روش‌های حل، ارائه یک الگوریتم ژنتیک و حل‌کننده CPLEX 10.2 استفاده شده است، و نتایج حاصله صحت آنها را تأیید می‌نمایند.

### واژه‌های کلیدی :

زنجیره تأمین، لجستیک به‌هنگام، کالاهای فساد پذیر، الگوریتم ژنتیک.

<sup>۱</sup> .دکترای مهندسی صنایع و عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس تهران [nakhai\\_isa@yahoo.com](mailto:nakhai_isa@yahoo.com)

<sup>۲</sup> . کارشناس ارشد مهندسی صنایع [salahzoh@yahoo.com](mailto:salahzoh@yahoo.com)

<sup>۳</sup> .دکترای مهندسی صنایع و عضو هیئت علمی دانشگاه تهران [ghodsi@ut.ac.ir](mailto:ghodsi@ut.ac.ir)

## ۱- مقدمه

مفاهیم و روش‌های سنتی مدیریت کسب و کار بر بهینه‌سازی فعالیت‌های درون سازمانی متمرکزند، این روش‌ها در بهبود عملکرد کل سیستم کسب و کار با محدودیت مواجه‌اند، جهانی شدن بازارها و به تبع آن افزایش رقابت بین مؤسسات و سازمان‌های مختلف از یک سو و همچنین افزایش توقعات مشتریان برای محصولات و خدماتی با کیفیت بالاتر و هرچه بیشتر سفارشی‌سازی شده و با تنوع بالا در ظاهر و کارکرد از سوی دیگر، باعث شده است که سازمان‌ها برای بقا و دوام، دیگر نتوانند فقط بر مدیریت سازمان خود متکی باشند و بیش از پیش لازم شده است که برای افزایش کارایی خودشان بر زنجیره‌های تأمین متکی باشند. مدیریت زنجیره تأمین راهبرد عملیاتی جهانی در قرن بیست و یکم برای دستیابی به رقابت سازمانی است، با توجه به عدم ثبات بازار رقابتی و تلاش به منظور بقا و حفظ تداوم روند رشد ارائه محصولات و خدمات در کمترین زمان و با پایین‌ترین قیمت و بالاترین کیفیت ساختمان‌ها ناگزیر به همکاری و بلکه تلفیق با یکدیگر و تشکیل زنجیره تأمین، به منظور افزایش سطح کیفیت ارائه خدمات به مشتری، کاهش هزینه‌ها، گسترش شبکه توزیع کالا، تسلط بر بازارهای فرامنطقه‌ای و ... می‌باشند. از جمله مزایای تشکیل زنجیره تأمین، در نظر گرفتن ارتباط میان بنگاه‌های اقتصادی مختلف است که به منظور برآورد تقاضای مشتری در تعامل با یکدیگر می‌باشد. در نگرش زنجیره تأمین کم کردن هزینه‌ها و انجام برنامه‌ریزی‌های مختلف برای یک بنگاه اقتصادی (تأمین‌کننده، کارخانه، عمده‌فروش و خرده‌فروش) به تنهایی تاثیر گذار نبوده بلکه لازم است بنگاه‌های مختلف و تعاملات میان آنها به صورت همزمان در نظر گرفته شود، به بیان دیگر اگر فعالیت سازمان‌های مستقل عضو زنجیره به صورت یکپارچه برنامه‌ریزی، اجرا و ارزیابی گردد، مرغوبیت محصول و کاهش هزینه‌ها را به دنبال خواهد داشت. در این راستا، توجه به حوزه‌هایی چون لجستیک، فن‌آوری اطلاعات، مدیریت استراتژیک، مدیریت ارتباط با مشتری، مدیریت موجودی‌ها و ... به منظور بهینه‌سازی، بهبود کارایی و اثر بخشی مدیریت زنجیره تأمین حائز اهمیت می‌باشد.

## ۲- مرور ادبیات

به سبب جهانی‌سازی و افزایش رقابت، توجه فزاینده‌ای به یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین شده است و مطالعات مختلفی به بررسی این مطلب پرداخته‌اند. به عنوان نمونه ایرن گک<sup>۴</sup> و همکاران در بخشی از کار خود، تصمیمات موجودی در زنجیره تأمین را مورد بررسی قرار داده و مدل ریاضی کلی با فرضیات زیر در نظر می‌گیرند: (۱) سفارشات عقب افتاده جایز نیست. (۲) زمان‌های انتظار بین کارخانجات و مراکز توزیع و نیز زمان‌های انتظار بین مراکز توزیع و مشتریان صفر است. در راستای رویکردهای سنتی، در این مدل تصمیمات موجودی گرفته شده به وسیله هر مرکز توزیع و هر مشتری با تمرکز روی تعیین مقادیر سفارش با هدف ایجاد توازن بین هزینه‌های نگهداری و سفارش دهی، تعیین می‌گردد [۱۲].

یکی از اولین مدل‌های مرور پیوسته موجودی در سیستم‌های چند سطحی، توسط شربروک<sup>۵</sup> ارائه شد [۱۳]. در این بررسی تقریب متریک به عنوان روشی مناسب جهت تعیین سطح بهینه موجودی‌ها در یک سیستم دو سطحی معرفی می‌گردد، مدل شربروک توسط مک استادت<sup>۶</sup> در سال ۱۹۷۳ توسعه داده شد [۱۴].

هل<sup>۷</sup> در سال (۱۹۹۷) به بررسی مدل یکپارچه تولید-موجودی برای یک فروشنده یک خریدار پرداخته است [۱۵]. در این مدل یک فروشنده (تولیدکننده) انباشت‌هایی به اندازه  $Q$  را در طی  $n$  بار ارسال با اندازه‌های به ترتیب  $q_1, q_2, \dots, q_n$  به یک خریدار ارسال می‌کند. اندازه  $i$  مین ارسال برابر است با  $q_i \lambda^{i-1}$  که در آن  $1 \leq \lambda \leq p/D$  می‌باشد بول اپراگادا<sup>۸</sup> و همکاران به بررسی سیستم توزیعی شامل یک دپو و چند انبار پرداخته‌اند که در آن تقاضا به صورت احتمالی و در سطح انبارها ایجاد می‌گردد [۱۶]. در ابتدای هر دوره دپو سفارشی به یک تأمین‌کننده خارج از سیستم ارائه می‌دهد که سفارش پس از مدت زمان انتظار ثابتی به دپو می‌رسد. سپس دپو

<sup>4</sup> -E renguc

<sup>5</sup> -Sherbrooke

<sup>6</sup> -Muckstadt

<sup>7</sup> -Hill

<sup>8</sup> -Bollapragada

کنند. موون<sup>۱۶</sup> و همکاران، مدل اندازه اقتصادی سفارش را برای کالاهاى فاسدشدنی و بهبود پذیر با منظور کردن ارزش زمانی پول توسعه دادند. آنها فرض کردند که نرخ فساد و بهبود ثابت و تقاضا تابعی از زمان است. سارکر<sup>۱۷</sup> و همکاران، یک مدل زنجیره تأمین جهت تعیین خط مشی بهینه سفارش برای کالاهاى فاسدشدنی با منظور کردن عوامل تورم، کمبود و دیرکرد در پرداخت توسعه داده اند [۲۵].

یانگ و وی (۲۰۰۳) در کار خود مدلی برای برنامه‌ریزی یکپارچه تولید-موجودی کالاهاى فاسد شدنی ارائه داده‌اند. این مدل به بررسی حالت تک محصولی و سیستمی متشکل از یک تولید کننده و چند خرده‌فروش اختصاص یافته است. مدل با فرض نرخ محدود تولید و تقاضا، بدون زمان انتظار و یکپارچه تولید-موجودی کالاهاى فاسد شدنی ارائه داده‌اند، راو<sup>۱۸</sup> و همکاران یک مدل چند سطحی بین تأمین کننده، تولیدکننده و خریدار برای کالاهاى فاسد پذیر توسعه داده‌اند. در این مدل پس از تعیین تابع هزینه کل، با یک مثال عددی نشان داده شده است که رویکرد یکپارچه در مقایسه با تصمیم‌گیری مستقل منجر به کاهش هزینه کل می‌شود [۲۱].

چن و لی<sup>۱۹</sup> نیز با مطرح کردن بهینه سازی همزمان چند هدف متضاد با قیمت‌هایی غیر قطعی اولین کسانی بودند که بهینه سازی چند هدفه را در شبکه های زنجیره تأمین مطرح کردند [۲۸].

تأثیر فاسد شدن کالا بر عملکرد سیستم موجودی نخستین بار در تحقیقات Ghare و Schrandt در سال ۱۹۶۳ بررسی گردید. این مطالعات توسط Shah و Jaiswal در سال ۱۹۷۷ با تحلیل و مدل‌سازی یک سیستم موجودی برای اقلام فاسد شدنی و با در نظر گرفتن نرخ فساد ثابت برای این اقلام تداوم یافت، کوورت و فیلیپ<sup>۲۰</sup> یک مدل کنترل موجودی برای اقلام فاسد شدنی با نرخ متغیر و با فرض مجاز نبودن کمبود طراحی کردند در این مدل تقاضا به صورت ثابت و نرخ فساد اقلام

سفارشات رسیده را به انبارها ارسال می‌کند. دپو هیچ موجودی نگهداری نمی‌کند. زمان انتظار ثابتی بین دپو و انبارها در نظر گرفته شده است و کمبود به صورت سفارشات عقب افتاده فرض شده است. همچنین انبارها به صورت غیریکسان مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۱۵]. گوپال<sup>۹</sup> در سال (۲۰۰۰) در کار خود با در نظر گرفتن مدل یکپارچه تولید-موجودی تک فروشنده تک خریدار (۱۹۹۷)، روش ساده‌ای برای مقداردهی اندازه‌های ارسالی به‌دست آمده از روش مذکور را ارائه نموده است [۱۷].

هوکیو و گوپال<sup>۱۰</sup> در سال (۲۰۰۰) تعیین سیاست بهینه‌ای برای سیستم یکپارچه تولید-موجودی که از یک خریدار و یک فروشنده تشکیل شده است را مورد مطالعه قرار داده‌اند مفروضات زیر در توسعه مدل در نظر گرفته شده است: ۱- نرخ تقاضا قطعی و در طی افق زمانی نامحدود، ثابت است. ۲- تمام انباشته تولیدی می‌تواند در بسته‌های یکسان و یا غیریکسان منتقل گردد. در هر صورت هزینه ثابتی برای هر بار ارسال محاسبه می‌گردد. ۳- کمبود مجاز نیست. ۴- زمان حمل و نقل ناچیز بوده و در نظر گرفته نشده است. ۵- تمامی مقادیر ثابت و قطعی فرض شده‌اند. ۶- افق زمانی مورد بررسی نامحدود در نظر گرفته شده است [۱۸]. ویژگی خاص مدل پیشنهادی گوپال و هوکیو در بررسی مدل تحت شرط محدود بودن ظرفیت تجهیزات حمل‌ونقل است. گری و گوپال<sup>۱۱</sup> مروری بر مقالات مختلفی که توابع گوناگون فاسد شدن کالا را بررسی نموده‌اند داشته‌اند برای اولین بار بحث فاسد شدن کالا را وگنر و ویتن<sup>۱۲</sup> مطرح نمودند [۱۹].

مرسا<sup>۱۳</sup> اولین مدل اندازه انباشته تولید اقتصادی را با حالت نرخ ثابت و متغیر زوال ارائه کرده است. جیاسوال و شا<sup>۱۴</sup> به فرضیات آنها حالت کمبود را اضافه کرده‌اند و انگ<sup>۱۵</sup> یک مدل موجودی تعیین اندازه اقتصادی سفارش و فروش را توسعه داده است که در آن بهبود و فساد اقلام از توزیع وایبل پیروی می

9- Goyal

10- Hoque & Goyal

11- Giri & Goyal

12- Wagner & Whitin

13- Mirsa

14- Jaiswal & Shah

15- Hwang

16- Moon

17- Sarker

18- Rau

19- Chen & Lee

20- Covert & Philip

برآورده شوند و محدودیت‌هایی در مورد زمان سفر، ظرفیت، سرعت، نوع و تعداد وسایل نقلیه وجود دارد [۲۲]. ژو و دیگران<sup>۲۳</sup> شبکه زنجیره تأمین را طراحی کرده اند که هزینه حمل و نقل و سطح خدمت را به بهترین وجه متعادل می کند به گونه ای که تا حد امکان به همه مراکز توزیع بار کاری یکسان داده شود و کل مسافت حمل شبکه مینیمم شود. این کار باعث کم شدن احتمال مواجهه با کمبود موجودی انبارها، سفارشات عقب افتاده و تاخیر در پاسخگویی به تقاضای مشتریان می شود و در عین حال نرخ پرسازی سفارش و نرخ استفاده از مراکز توزیع را افزایش می دهد. برای این کار تابع هدفی را بصورت به حداقل رساندن ماکزیمم مسافت حمل مربوط به مراکز توزیع در نظر گرفته و از فرمول درخت فراگیر ستاره متوازن برای مدل سازی استفاده کرده است. در نهایت روش الگوریتم ژنتیک برای حل بکار گرفته شده است [۴۱].

### ۳- تشریح مسأله

زنجیره تأمین، چرخه انتقال محصولات تا رسیدن به مصرف کننده نهایی و شامل فعالیت‌هایی است که از مرحله کشف و استخراج مواد خام از زمین آغاز و با بازیافت محصولات پس از بهره برداری خاتمه می یابد. به این ترتیب با توجه به این که در هر سطح از زنجیره، ارزش افزوده ایجاد می شود، می توان زنجیره تأمین را زنجیره ارزش نیز نامید.

کالاهای فاسدشدنی به کالاهایی اطلاق می گردد که در طی زمان خراب، ضایع، خشک و یا تبخیر می گردند. محصولاتی چون میوه‌جات، سبزیجات، خون انسان، فیلم-های عکاسی و غیره در این زمره قرار دارند.

لجستیک به موقع: لجستیک بخشی از فرآیند زنجیره تأمین می باشد که برنامه ریزی، اجرا و کنترل موثر و انبارش کالاها، خدمات و اطلاعات مرتبط را از نقطه مبدا تا نقطه مصرف به عهده دارد تا نیازمندی‌های مشتری بر آورده شود. و لجستیک به موقع یعنی بهینه کردن هزینه های دیر کرد وزود کرد بخش لجستیک.

در این تحقیق یک سیستم توزیع سه سطحی برای اقلام فاسد شدنی با در نظر گرفتن فلسفه JIT بررسی خواهد

فاسد شدنی براساس تابع چگالی وایبول در نظر گرفته شده است. مدل ارایه شده، توسط فیلیپ بار دیگر با در نظر گرفتن تابع چگالی وایبل با سه پارامتر توسعه داده شد.

فلسفه JIT اولین بار توسط وانگ ات ال<sup>۲۱</sup> در زمینه مدیریت زنجیره تأمین بکار برده شد. با توجه به سیاست JIT، باید مقدار مناسبی از کالاها، در زمان مناسب و در مکان مناسب تحویل گردد. JIT نقش مهمی در توزیع کارایی کالاها بازی می کند. از آنجا که هزینه های لجستیکی بخش بزرگی از کل هزینه های زنجیره تأمین را به خود اختصاص می دهند، اتخاذ تصمیمات مربوط به برنامه ریزی توزیع و موجودی به طور همزمان، می توانند کل هزینه های زنجیره تأمین را به میزان قابل توجهی کاهش دهد و از سوی دیگر اثر مهمی بر روی تعیین سطح سرویس به مشتری دارد [۳۰].

وانگ و دیگران (۲۰۰۳) یک شبکه توزیع متشکل از چند انبار و چند خرده فروش در نظر گرفته است، در این شبکه تقاضاها باید به موقع (JIT) تأمین شود و زودکرد یا دیرکرد در تأمین تقاضاها با جریمه هایی همراه است. هدف تعیین برنامه ریزی توزیع بهینه به طریقی است که کل هزینه های ساخت، حمل، زودکرد یا دیر کرد به حداقل برسد [۳۰].

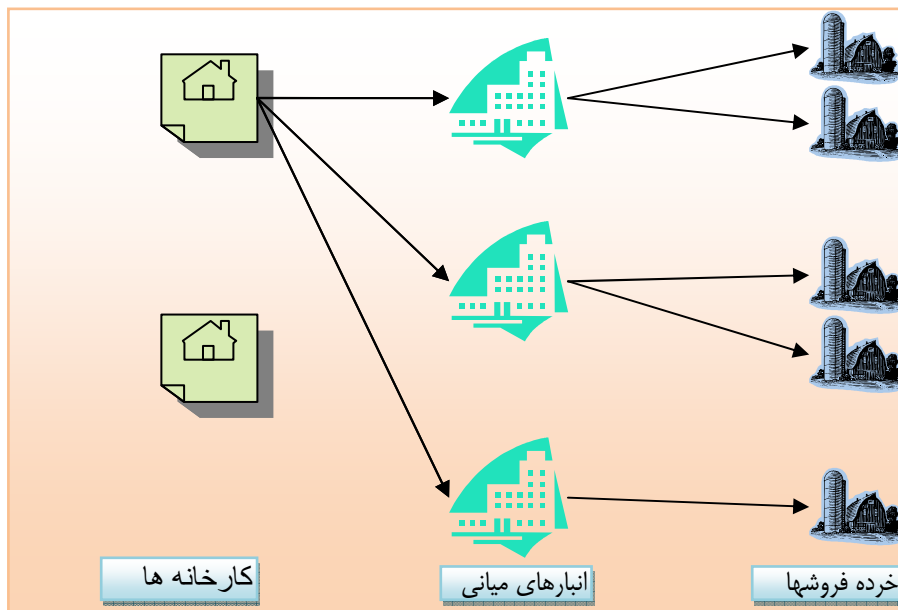
هوانگ<sup>۲۲</sup> با در نظر گرفتن سطوح خدمت مورد نیاز، به طراحی یک سیستم لجستیکی شامل تعدادی مراکز تولید، انبارها یا مراکز توزیع و مشتریان با مقادیر تقاضای غیر قطعی می پردازد. مسافتها توزیع احتمالی دارند. برای حل این مسأله ابتدا از روش پوشش کلی تصادف برای راه اندازی انبارها استفاده شده است. تابع هدف بصورت به حداقل رساندن هزینه های لجستیک و تعداد انبارهایی که می توانند راه اندازی شوند بیان می شود. سپس تصمیمات مسیریابی و تعیین میزان سفارش انبارها به مراکز تولید با استفاده از یک روش برنامه ریزی شی گرا بر مبنای الگوریتم ژنتیک اتخاذ می شود به طوری که هزینه های لجستیکی مینیمم شود. در این مسأله تقاضاها باید کاملاً

<sup>21</sup> Wang et al

<sup>22</sup> - Hwang

- ✓ مدت زمانی که کالاها در آن با تخفیف به فروش می‌رسند، مضرب صحیحی از طول دوره هاست.
  - ✓ کالایی که از طرف کارخانه ارسال می‌گردد، در ابتدای مدت انقضاء قرا دارد (نو است).
  - ✓ سیستم مصرف کالا در انبار FIFO است.
  - ✓ زمان حمل کالا در مقایسه با طول دوره برنامه‌ریزی بسیار کوتاه و قابل صرف نظر کردن است.
  - ✓ محدودیت ظرفیت عرضه تأمین کنندگان باید در نظر گرفته شود.
  - ✓ تقاضای مشتریان در هر دوره باید برآورده شود.
  - ✓ محدودیت ظرفیت کلی انبار در نظر گرفته شود.
  - ✓ محدودیت ظرفیت تخصیص یافته انبار به هر کالا در نظر گرفته شود.
  - ✓ محدودیت موجودی در انتهای هر دوره منظور شود.
  - ✓ محدودیت بودجه برای هر کالا دیده شود.
- شبکه این مدل در شکل ۳-۱ آورده شده است.

- شد، نخست مدل‌های مسأله ارائه شده اند و سپس با استفاده از حل کننده Cplex.10.2 و الگوریتم ژنتیک حل می‌گردند.
- مدل‌هایی که در اینجا در نظر گرفته شده اند دارای مفروضات زیرمی باشند :
- ✓ سیستم شامل چند تولید کننده، چند انبار میانی، چند مشتری است (سه سطحی)؛ به هر انبار میانی تعدادی مشتری، تخصیص یافته است.
- ✓ مدل برای چند مد حمل و نقل (جاده ای، ریلی، هوایی و دریایی) طراحی شده است.
- ✓ سیستم برای چند قلم کالا در نظر گرفته شده است.
- ✓ تقاضای کالا در هر دوره ثابت و قطعی است.
- ✓ کمبود مجاز است.
- ✓ تعداد و مکان تسهیلات (کارخانه ها و مراکز توزیع) در دوره های برنامه ریزی مشخص نیست و بایستی از بین مکان های بالقوه مکان آنها انتخاب گردند.
- ✓ کالاها فسادپذیر بوده و تاریخ انقضاء دارند.
- ✓ مدت انقضاء، مضرب صحیحی از طول دوره هاست.



شکل ۳-۱: زنجیره تامین مسأله تحقیق

مجموعه و اندیس های به کار رفته در هر سه مدل به قرار زیر است:

$i=1, \dots, I$	مجموعه مکان بالقوه کارخانه‌ها
$k=1, \dots, K$	مجموعه مشتریان
$j=1, \dots, J$	مجموعه مکان بالقوه انبارهای میانی
$t=1, \dots, T$	مجموعه دوره های زمانی
$l=1, \dots, L$	مجموعه کالاها
$m=1, \dots, M$	مدهای حمل و نقل

متغیرهای هر سه مدل در جدول ۱-۳ و پارامترهای آنها نیز در جدول ۲-۳ آورده شده است.

اهداف این سه مدل عبارتند از: ۱- تعیین تعداد کارخانه‌ها و انبارهای میانی فعال و مکان‌هایشان ۲- کاهش هزینه های نگهداری انبارهای میانی و خرده فروشان ۳- کاهش هزینه های کمبود خرده فروشان ۴- کاهش هزینه های زودکرد و دیرکرد خرده فروشان ۵- کاهش هزینه خرید کالاها ۶- کاهش هزینه حمل و نقل انبارهای میانی و خرده فروشان ۷- مصرف کالاها قبل از اتمام تاریخ انقضاء و جلوگیری از فاسد شدن آنها (در مدل ۱ و ۳) ۸- به حداقل رساندن هزینه کالاها فاسد شده (در مدل ۲) ۹- به حداقل رساندن هزینه کالاها تخفیف داده شده (در مدل ۳).

جدول ۱-۳: متغیرهای هر سه مدل

متغیر	توضیح
$X_{ijlm}^t$	مقدار کالای $l$ که از کارخانه $i$ به انبار میانی $j$ در دوره $t$ به وسیله مد $m$ جابه جا می شود.
$Y_{jklm}^t$	مقدار کالای $l$ که از انبار میانی $j$ به خرده فروش $k$ در دوره $t$ به وسیله مد $m$ جابه جا می شود.
$PZ_i^t$	بیان کننده این است که آیا کارخانه $i$ در دوره $t$ فعال است؟ (متغیر صفر و یک)
$DZ_j^t$	بیان کننده این است که آیا انبار میانی $j$ در دوره $t$ فعال است؟ (متغیر صفر و یک)
$B_{kl}^t$	مقدار تجمعی تقاضای پس افت کالای نوع $l$ تا دوره $t$ در خرده فروشی $k$ .
$In_{kl}^t$	مقدار تجمعی موجودی کالای نوع $l$ تا دوره $t$ در خرده فروشی $k$ .
$v_{kl}^t$	متغیر صفر و یک، که بیانگر پس افت یا نگهداری کالای $l$ تا دوره $t$ در خرده فروشی $k$ است.

جدول ۳-۲: پارامترهای هر سه مدل و حدودهای آنها

پارامتر	توضیح و	حدود پارامترها
$pc_{ijlm}^t$	هزینه حمل و نقل هر واحد کالای اُم از کارخانه i به انبار میانی j با مد m در دوره t.	N(2,1)
$dc_{jklm}^t$	هزینه حمل و نقل هر واحد کالای اُم از انبار میانی j به خرده فروشی k اُم با مد m در دوره t.	N(3,1)
$pf_i^t$	هزینه ثابت عملیاتی کارخانه اُم در دوره t.	N(10000,1000)
$df_j^t$	هزینه ثابت عملیاتی انبار میانی اُم در دوره t.	N(2000,200)
$pb_{il}^t$	هزینه تولید محصول اُم در کارخانه i در دوره t.	N(7,1)
$dh_{jl}^t$	هزینه نگهداری هر واحد کالای l در انبار میانی اُم در دوره t.	N(1,0.5)
$d_{kl}^t$	تقاضای محصول اُم توسط مشتری k اُم در دوره t.	N(50,10)
$ps_{il}^t$	زمان مورد نیاز تولید هر واحد محصول l در کارخانه i و در دوره t.	N(2,0.5)
$PU_i^t$	کل زمان تولیدی در دسترس کارخانه اُم در دوره t.	N(100000,1000)
$DU_j^t$	کل ظرفیت نگهداری انبار میانی اُم در دوره t.	N(20000,500)
$CU_k^t$	کل ظرفیت نگهداری خرده فروش k اُم در دوره t.	N(300,50)
$PW$	حداکثر تعداد کارخانه ها	I
$DW$	حداکثر تعداد انبارهای میانی	J
$pv_l^t$	حجم هر واحد کالای l اُم در دوره t.	N(0.5,0.02)
$PV_{im}^t$	کل ظرفیت حجمی ارسالی مد حمل و نقل m از کارخانه i اُم در دوره t.	N(200,10)
$DV_{jm}^t$	کل ظرفیت حجمی ارسالی مد حمل و نقل m از انبار میانی اُم در دوره t.	N(100,10)
$Q_{jl}^t$	ظرفیت نگهداری محصول اُم در انبار میانی j در دوره t.	N(400,50)
$Q_{kl}^t$	ظرفیت نگهداری محصول اُم در خرده فروش k در دوره t.	N(30,10)
$bl_{kl}^t$	حداکثر سفارش عقب افتاده محصول اُم در خرده فروش k اُم در دوره t.	N(20,5)
$\pi_{kl}^t$	ضریب هزینه مرتبط با جریمه هر روز-قلم زودکرد نسبت به موعد تحویل کالای l در خرده فروش k در دوره t	N(1,0.5)
$\sigma_{kl}^t$	ضریب هزینه مرتبط با جریمه هر روز-قلم دیرکرد نسبت به موعد تحویل کالای l در خرده فروش k در دوره t	N(1.5,0.5)
$EX_l$	تاریخ مصرف کالای نوع l اُم	U(3,6)
tr	مدت زمانی که کالاها در آن با تخفیف فروخته می شوند	U(1,2)
W	هزینه هر واحد کالای فاسد شده (مربوط به مدل ۳)	N(1,0.2)
$R_p$	مقدار هزینه تخفیف هر واحد کالای تخفیف داده شده (مربوط به مدل ۳)	N(1,0.1)

## نمای ریاضی مدل ۱

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z1 = & \left( \sum_t \sum_m \sum_l \sum_j \sum_i pc'_{ijlm} . X'_{ijlm} + \sum_t \sum_m \sum_l \sum_k \sum_j dc'_{jklm} . Y'_{jklm} \right) \\
 & + \left( \sum_t \sum_i pf'_i . PZ'_i + \sum_t \sum_j df'_j . DZ'_j \right) + \left( \sum_t \sum_l \sum_i pb'_{il} . \left( \sum_j \sum_m X'_{ijlm} \right) + \right. \\
 & \left. \left( \sum_l \sum_j \sum_{t \neq T} dh'_{jl} \left( \sum_i \sum_m \sum_{t'=1}^t X'_{ijlm} - \sum_k \sum_m \sum_{t'=1}^t Y'_{jklm} \right) \right) + \left( \sum_l \sum_k \sum_t \sigma'_{kl} . B'_{kl} + \sum_l \sum_k \sum_t \pi'_{kl} . In'_{kl} \right) \right) \quad 1
 \end{aligned}$$

$$\sum_m \sum_j Y'_{jklm} = d'_{kl} \quad \forall k, l, t \quad 2$$

$$\sum_l ps'_{il} \left( \sum_j \sum_m X'_{ijlm} \right) \leq PU'_i . PZ'_i \quad \forall i, t \quad 3$$

$$\sum_l pv'_l \left( \sum_i \sum_m X'_{ijlm} \right) \leq DU'_j . DZ'_j \quad \forall j, t \quad 4$$

$$\left( \sum_l pv'_l . \sum_j \sum_m Y'_{jklm} \right) \leq CU'_k \quad \forall k, t \quad 5$$

$$\sum_i \sum_m \sum_{t'=1}^t X'_{ijlm} - \sum_k \sum_m \sum_{t'=1}^t Y'_{jklm} \geq 0 \quad \forall j, l, t \neq T \quad 6$$

$$\sum_i PZ'_i \leq PW \quad \forall t \quad 7$$

$$\sum_j DZ'_j \leq DW \quad \forall t \quad 8$$

$$\sum_j \sum_l pv'_l . X'_{ijlm} \leq PV'_{im} \quad \forall i, m, t \quad 9$$

$$\sum_k \sum_l pv'_l . Y'_{jklm} \leq DV'_{jm} \quad \forall j, m, t \quad 10$$

$$\sum_j \sum_m \sum_{t'=1}^t Y'_{jklm} - In'_{kl} + B'_{kl} = \sum_{t'=1}^t d'_{kl} \quad \forall k, l, t \neq T \quad 11$$

$$In'_{kl} \leq Q'_{kl} . v'_{kl} \quad \forall k, l, t \neq T \quad 12$$

$$B'_{kl} \leq bl'_{kl} . (1 - v'_{kl}) \quad \forall k, l, t \neq T \quad 13$$

$$\sum_i \sum_m \sum_t X'_{ijlm} - \sum_k \sum_m \sum_t Y'_{jklm} = 0 \quad \forall l, j \quad 14$$

$$\sum_i \sum_m \sum_{t'=1}^t X'_{ijlm} - \sum_k \sum_m \sum_{t'=1}^t Y'_{jklm} \leq Q'_{jl} \quad \forall j, l, t \neq T \quad 15$$

$$\sum_{t'=1}^t \sum_j \sum_i \sum_m X'_{ijlm} \leq \sum_{t'=1}^{\min(t+EX_t, T)} \sum_k d'_{kl} \quad \forall l, t \neq T \quad 16$$



$$\sum_{t''=1}^{\min(t+Ex, T)} \sum_k \sum_m Y_{jklm}^{t''} - \sum_{t'=1}^t \sum_i \sum_m X_{ijlm}^{t'} \geq 0 \quad \forall l, j, t \neq T \quad 17$$

$$PZ_i^t, DZ_j^t, v_{kl}^t = 0 \quad \text{or} \quad 1 \quad \forall i, j, t \quad 18$$

$$X_{ijlm}^t, Y_{jklm}^t, In_{kl}^t, B_{kl}^t \geq 0 \quad \forall i, k, l, m, j, t \quad 19$$

## تشریح مدل ۱

ظرفیت مدهای حمل و نقل در هر دوره برنامه‌ریزی می‌باشند، نیابستی میزان کالای حمل شده توسط هر مد از ظرفیت آن بالاتر رود. مجموعه محدودیت‌های (۱۱) کمبود و یا سطح موجودی در هر خرده‌فروش را معین می‌کنند. مجموعه محدودیت‌های (۱۲) و (۱۳) بیانگر این هستند که در هر دوره برنامه‌ریزی برای هر محصول فقط زودکرد و یا دیرکرد می‌تواند اتفاق بیفتد و همزمان نمی‌توانند هر کدام مثبت شوند، حداکثر مقدار قابل مجاز آنها نیز نشان داده شده است. مجموعه محدودیت‌های (۱۴) معادلات تعادلی موجودی هر انبار میانی در افق برنامه‌ریزی هستند و یا به عبارتی اطمینان حاصل می‌کنند که موجودی هر انبار میانی برای هر کالایی در پایان افق برنامه‌ریزی باید صفر باشد. مجموعه محدودیت‌های (۱۵) محدودیت ظرفیت هر انبار میانی را در هر دوره ارضا می‌نماید، یعنی تفاوت جریان ورودی و خروجی هر انبار میانی نباید از ظرفیت آن تجاوز کند. محدودیت‌های (۱۶) و (۱۷) به این دلیل است که کالاها در تاریخ مصرف مناسبشان استفاده شوند. مجموعه روابط (۱۸) نشان‌دهنده متغیرهای صفر و یک مدل بوده که فعال بودن و غیر فعال بودن کارخانه‌ها و مراکز توزیع را نشان می‌دهد. همچنین مجموعه روابط (۱۹) نشانگر این هستند که در هر دوره باید میزان موجودی و میزان کمبود مشتریان به ازای هر کالا و هر دوره و میزان سفارش دریافتی از هر تأمین‌کننده و برای هر انبار میانی و همچنین سفارشات دریافتی توسط مشتریان، مقادیر مثبت باشد.

رابطه (۱)، تابع هدف مدل ریاضی است و شامل هزینه‌های انتقال کالا متشکل از هزینه انتقال از کارخانه به انبار میانی (مراکز توزیع) و هزینه انتقال از مراکز توزیع به خرده‌فروشی‌ها، هزینه ثابت فعال کردن کارخانه‌ها و مراکز توزیع، هزینه تولید کالا توسط کارخانه‌ها، هزینه نگهداری موجودی در انبار میانی، هزینه‌های عدول از سیستم JIT (هزینه‌های زودکرد و دیرکرد). مجموعه محدودیت‌های (۲)، بیان می‌کنند که کل تقاضا در طول افق برنامه‌ریزی باید تأمین گردد، به عبارت دیگر مجموع کالاهاى ورودى به هر خرده‌فروش در طول افق برنامه‌ریزی باید با مجموع تقاضای رسیده به آن برابر باشد. مجموعه محدودیت‌های (۳)، بیان‌کننده محدودیت زمان تولید کارخانه‌ها می‌باشد، در صورتی که کارخانه فعال نشود، سمت راست صفر شده و به ناچار کلیه متغیرهای مرتبط بایستی صفر گردند و در صورت فعال شدن کارخانه حداکثر به اندازه زمان قابل دسترس کارخانه می‌توان کالا تولید نمود. مجموعه محدودیت‌های (۴)، نشان‌دهنده محدودیت ظرفیت انبارهای میانی و مجموعه محدودیت‌های (۵) بیانگر محدودیت فضای انبار در خرده‌فروشی‌ها می‌باشد. مجموعه محدودیت‌های (۶)، معادلات تعادلی موجودی دوره‌ای در هر عمده فروش هستند و یا به عبارتی اطمینان حاصل می‌کنند که مجموع کالاهاى خروجى از هر عمده فروش از کل موجودی آن در هر دوره فراتر نرود. مجموعه محدودیت‌های (۷) و (۸) بیانگر حداکثر تعداد تسهیلاتی (کارخانه‌ها و مراکز توزیع) که ممکن است فعال گردند، می‌باشد. محدودیت‌های (۹) و (۱۰) بیانگر محدودیت

## نمای ریاضی مدل ۲

مدل مذکور شامل تابع هدف زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z1 = & \left( \sum_t \sum_m \sum_l \sum_j \sum_i pc_{ijlm}^t X_{ijlm}^t + \sum_t \sum_m \sum_l \sum_k \sum_j dc_{jklm}^t Y_{jklm}^t \right) \\ & + \left( \sum_t \sum_i pf_i^t .PZ_i^t + \sum_t \sum_j df_j^t .DZ_j^t \right) + \left( \sum_t \sum_l \sum_i pb_{il}^t . \left( \sum_j \sum_m X_{ijlm}^t \right) \right) + \\ & \left( \sum_l \sum_j \sum_{t \neq T} dh_{jl}^t \left( \sum_i \sum_m \sum_{t'=1}^t X_{ijlm}^t - \sum_k \sum_m \sum_{t'=1}^t Y_{jklm}^t \right) \right) + \left( \sum_l \sum_k \sum_t \sigma_{kl}^t .B_{kl}^t + \sum_l \sum_k \sum_t \pi_{kl}^t .In_{kl}^t \right) + \\ & \left( \sum_t \sum_l \sum_i \sum_j \sum_m X_{lijm}^t - \sum_{t'} \sum_k \sum_l d_{kl}^{t'} \right) * w \end{aligned}$$

و محدودیت‌های آن شامل محدودیت‌های ۲ الی ۱۵، ۱۸، ۱۹ و

(۲۱)

$$\sum_{t'=1}^t \sum_i \sum_m X_{ijlm}^{t'} - \sum_{t'=1}^{\min(t+EX_t, T)} \sum_k Y_{jklm}^{t'} > 0 \quad \forall l, j, t \neq T$$

$$\sum_{t'=1}^t \sum_i \sum_m X_{lijm}^{t'} > \sum_{t'=1}^{\min(t+EX_t, T)} \sum_k d_{kl}^{t'} \quad \forall l, j, t \neq T \quad (22)$$

می‌باشند.

## تشریح مدل ۲

رابطه (۲۰) تابع هدف مدل ۲ ریاضی است و شامل هزینه‌های انتقال کالا متشکل از هزینه انتقال از کارخانه به انبار میانی (مراکز توزیع)، و هزینه انتقال از مرکز توزیع به خرده‌فروشی‌ها، هزینه ثابت فعال کردن کارخانه‌ها و مراکز توزیع، هزینه تولید کالا توسط

کارخانه‌ها، هزینه نگهداری موجودی در انبار میانی، هزینه‌های عدول از سیستم JIT (هزینه‌های زودکرد و دیرکرد) و هزینه ناشی از فاسد شدن کالاها می‌باشد. محدودیت‌های (۲۱) و (۲۲) فاسد شدن کالاها در انبارهای میانی و خرده‌فروشی‌ها را نشان می‌دهند.

## نمای ریاضی مدل ۳

تابع هدف مدل سوم

(۲۳)

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z1 = & \left( \sum_t \sum_m \sum_l \sum_j \sum_i pc_{ijlm}^t X_{ijlm}^t + \sum_t \sum_m \sum_l \sum_k \sum_j dc_{jklm}^t Y_{jklm}^t \right) \\
 & + \left( \sum_t \sum_i pf_i^t .PZ_i^t + \sum_t \sum_j df_j^t .DZ_j^t \right) + \left( \sum_t \sum_l \sum_i pb_{il}^t . \left( \sum_j \sum_m X_{ijlm}^t \right) \right) + \\
 & \left( \sum_l \sum_j \sum_{t \neq T} dh_{jl}^t \left( \sum_i \sum_m \sum_{t'=1}^t X_{ijlm}^t - \sum_k \sum_m \sum_{t'=1}^t Y_{jklm}^t \right) \right) + \left( \sum_l \sum_k \sum_t \sigma_{kl}^t .B_{kl}^t + \sum_l \sum_k \sum_t \pi_{kl}^t .In_{kl}^t \right) + \\
 & \left( \sum_{t'=1}^{\min(t+Ex_l, T)} \sum_m \sum_l \sum_j \sum_i X_{ijlm}^{t'} - \sum_{t''=1}^{\min(t+Ex_l-tr, T)} \sum_m \sum_l \sum_j \sum_i X_{ijlm}^{t''} \right) * R_p
 \end{aligned}$$

و محدودیت‌های آن شامل محدودیت‌های ۲ الی ۱۵، ۱۸، ۱۹ و

(۲۴)

$$\sum_{t'=1}^t \sum_j \sum_i \sum_m X_{ijlm}^{t'} \leq \sum_{t''=1}^{\min(t+Ex_l-tr, T)} \sum_k d_{kl}^{t''} \quad \forall l, t \neq T$$

(۲۵)

$$\sum_{t''=1}^{\min(t+Ex_l-tr, T)} \sum_k \sum_m Y_{jklm}^{t''} - \sum_{t'=1}^t \sum_i \sum_m X_{ijlm}^{t'} \geq 0 \quad \forall l, j, t \neq T$$

(۲۶)

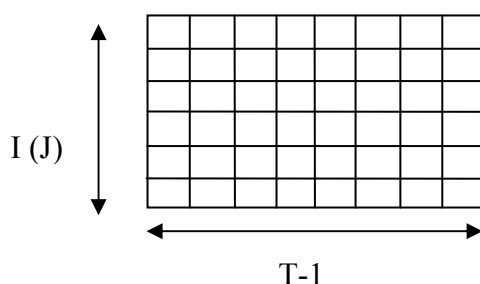
$$\sum_{t'=1}^{\min(t+Ex_l, T)} \sum_i \sum_m \sum_j X_{ijlm}^{t'} - \sum_{t''=1}^{\min(t+Ex_l-tr, T)} \sum_i \sum_m \sum_j X_{jklm}^{t''} \geq 0 \quad \forall l, t \neq T$$

### تشریح مدل ۳

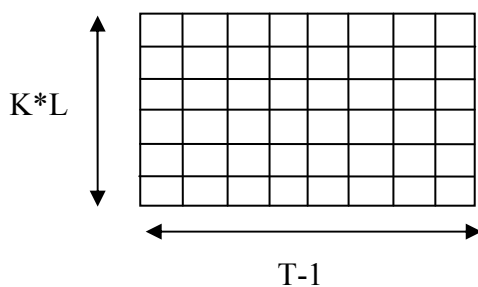
رابطه (۲۳) تابع هدف مدل سوم است و شامل هزینه‌های انتقال کالا متشکل از هزینه انتقال از کارخانه به انبار میانی (مراکز توزیع)، و هزینه انتقال از مرکز توزیع به خرده فروشی‌ها، هزینه ثابت فعال کردن کارخانه‌ها و مراکز توزیع، هزینه تولید کالا توسط کارخانه‌ها، هزینه نگهداری

موجودی در انبار میانی، هزینه‌های عدول از سیستم JIT (هزینه‌های زودکرد و دیرکرد) و هزینه ناشی از تخفیف دادن کالاها می باشد. محدودیت‌های (۲۴) و (۲۵) به این دلیل است که اگر مقداری از کالاها دیر به فروش برسند برای جلوگیری از فاسد شدنشان، مدت زمانی قبل از اتمام تاریخ انقضاء، آنها را با تخفیف ویژه در قیمت

کالا می باشند. برای هر کدام از متغیرهای بالا ماتریسی در نظر گرفته خواهد شد، که هر کروموزوم رشته هایی است که باید درایه های هر سه ماتریس را شامل شود. لازم به ذکر است که حداکثر تعداد کل مکان احداث کارخانه ها  $I$  و حداکثر تعداد انبارهای میانی  $J$  می باشد و این امر باید در ایجاد ماتریس در نظر گرفته شود. شکل زیر این موضوع را نشان می دهد. به طوری که ستون ها نشان دهنده دوره های زمانی و سطرها نیز بیانگر مکان بالقوه تسهیلات می باشند.



برای متغیرهای  $V_{kl}^t$  نیز شبیه به دو متغیر  $PZ$  و  $DZ$  ماتریسی تشکیل داده به طوریکه ستون آن نشان دهنده دوره های زمانی و سطرها آن به اندازه  $K*L$  خواهند بود. لازم به ذکر است که اعداد هر کدام از ژن های این ماتریس می توانند صفر یا یک باشند.



لذا هر کروموزوم از سه رشته مختلف که هر کدام از آنها نیز ماتریس هایی با ابعاد مختلف هستند، تشکیل می شود.

کروموزوم: [رشته اول، رشته دوم، رشته سوم]

۵- مسائل نمونه و حل مدل ها

در این تحقیق، برای بررسی میزان عملکرد مدل های پیشنهادی چند مسأله نمونه مختلف در ابعاد متعدد حل شده اند. یک الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مدل ها

به فروش رساند. محدودیت (۲۶) مقدار کالاهایی که با تخفیف فروخته شده اند را نشان می دهد. بنابراین در هر سه مدل بالا هم شرایط کالاهای فسادپذیر و هم فلسفه JIT با وارد نمودن هزینه ها به تابع هدف مورد توجه قرار گرفته اند.

#### ۴- پیاده سازی الگوریتم ژنتیک در حل مدل پیشنهادی

مراحل مختلف الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مسأله عبارت است از: ۱- تعیین پارامترهای الگوریتم ژنتیک: احتمال جهش، کراس آور، اندازه جامعه، تعداد نسل ۲- تولید پارامترهای مسأله و تولید مدل آن ۳- تولید جامعه اولیه با اندازه  $K$  با استفاده از متغیرهای صفر و یک به صورت سه رشته مجزا ۴- حل مدل برنامه ریزی خطی برای هر کدام از کروموزوم های تولید شده و محاسبه تابع هدف ۵- تکرار مراحل زیر تا رسیدن به معیار توقف

ا) اعمال عملگر تقاطع جهت به دست آوردن فرزندان

ب) اعمال عملگر جهش برای تولید فرزندان

ت) محاسبه مقدار تابع جواب های تولید شده با حل مسأله برنامه ریزی خطی

ث) انتخاب والدین جهت نسل بعدی

۶- نمایش جواب و خروجی برنامه

در اینجا به علت حجم بودن مقاله فقط اشاره مختصری به چگونگی ایجاد کروموزوم ها شده است.

#### ۴-۱- نمایش کروموزوم ها

در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی نحوه نمایش کروموزوم ها به صورت متغیرهای صفر و یک در نظر گرفته خواهند شد. مدل ارائه شده دارای دو دسته متغیر بوده که در تعدادی از آنها متغیرهای صفر و یک و در دسته دیگر متغیرهای اعداد صحیح دیده می شوند. از آنجا که تعداد متغیرهای مدل ارائه شده بسیار زیاد بوده و عملاً غیر ممکن است که کلیه آنها به عنوان ژن های یک کروموزوم تعریف شوند، لذا در اینجا متغیرهای صفر و یک مدل را به عنوان کروموزوم تعریف نموده که این متغیرها نیز دارای سه دسته می باشند:

۱- متغیرهایی که برای نشان دادن احداث کارخانه ها استفاده می گردند. ۲- متغیرهایی که برای نشان دادن احداث انبارهای میانی استفاده می شوند. ۳- متغیرهایی که بیانگر وجود کمبود یا اضافه موجودی در هر دوره برای هر

پیشنهادی در ادبیات موضوع مشاهده نشده و مدلی که همه پارامترهای در نظر گرفته شده را داشته باشد موجود نبوده است، لذا مسائل نمونه به صورت تصادفی و با استفاده از پارامترهایی که در جدول ۳-۲ مشاهده می‌شوند، تولید گردیده‌اند.

مطرح گردید، مسائل نمونه با استفاده از روش‌های الگوریتم ژنتیک و نرم افزار CPLEX10.2 حل گردیده اند، که نتایج به دست آمده نشان از صحت عملکرد مدل‌هاست الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در محیط برنامه نویسی MATLAB 7.0.2 کد شده و از توابع آن در داخل الگوریتم استفاده شده است. از آنجا که مدل

جدول ۵-۱: مسائل نمونه در ابعاد مختلف

شماره مسأله	کارخانه i	انبار میانی j	مشتری k	تعداد کالاها l	تعداد مدها m	تعداد دوره ها t
1	2	3	3	2	1	4
2	2	4	4	3	2	4
3	2	4	4	3	2	8
4	3	5	5	4	2	6
5	3	5	7	4	3	4
6	4	6	7	4	3	6
7	4	6	6	6	3	8
8	5	8	6	6	3	8
9	5	8	6	6	3	12
10	6	10	10	6	4	12

#### ۵-۱: نتایج حاصله از حل مدل‌ها با استفاده از نرم افزار CPLEX 10.2

در نرم افزار CPLEX10.2 هر کدام از مسائل ۱۰ بار اجرا شده اند، و بهترین نتایج محاسباتی حاصل از ۱۰ بار اجرای الگوریتم آورده شده است. چون زمان حاصل از اجرای نرم افزار جهت تولید جواب‌ها، برای هر سه مدل اختلاف خیلی جزئی با هم داشتند، بنابراین زمان حل هر سه مدل یکسان در نظر گرفته شده است.

- زمان اجرا: زمان حاصل از اجرای نرم افزار جهت تولید و اجرای روش برحسب ثانیه
- بهترین مقدار مدل: بهترین مقدار تابع هدف که جواب کلی مدل می باشد.

جدول ۵-۲: خلاصه نتایج ده مسأله نمونه توسط Cplex 10.2

شماره مسأله	بهترین مقدار مدل ۳	بهترین مقدار مدل ۲	بهترین مقدار مدل ۱	زمان اجرا (ثانیه)
1	54102	57239	51857	0.02
2	68190	70765	64163	0.06
3	137300	141001	132224	0.15
4	172876	179501	168296	0.23
5	122749	129521	117352	0.27
6	184901	190320	179870	0.47
7	291865	300587	286935	1.04
8	286310	295879	282488	1.56
9	436376	448387	427896	3.00
10	594989	617001	585782	7.10

با مشاهده نتایج می توان صحت عملکرد مدل ها را مشاهده کرد و اینکه که نرم افزار CPLEX در ورژن های بالا برای حل این گونه مسائل از کارائی بسیار بالایی برخوردار بوده و در زمان خیلی کم، جواب هایی با مقادیر تابع هدف بسیار خوب را خواهد داد.

۲-۵ نتایج حاصله از اجرای الگوریتم ژنتیک در هر سه مدل الگوریتم ژنتیک:

از آنجاکه در حلقه داخلی باید مدل برنامه ریزی خطی را حل کند، لذا نسبت به نرم افزار CPLEX با ورژن های بالا بسیار وقت گیرتر بوده و همچنین مقدار تابع هدف پیدا شده آن نیز بیشتر از نرم افزار مذکور می باشد. پارامترهای ژنتیک که در این مسائل استفاده گردیدند عبارتند از:

اندازه جامعه: ۱۰؛ تعداد نسل: ۵؛ احتمال تقاطع: ۰.۸؛ احتمال جهش: ۰.۳.

از آنجا که در هر بار اجرای الگوریتم مسائل تولید شده به صورت تصادفی می باشند، امکان دارد مدل ارائه شده براساس پارامترهای تولید شده موجه نبوده و دارای جواب

نباشد ( این موضوع در نرم افزار CPLEX نیز مشاهده شده است) و یا با توجه به کروموزم های تولید شده، جواب موجهی برای مسأله پیدا نگردد. برای هر مسأله نمونه الگوریتم ژنتیک ۵ بار اجرا شده است. بهترین مقدار تابع هدف پیدا شده از هر ۵ بار اجرای الگوریتم ژنتیک در جدول زیر آورده شده است، برای مسائل نمونه نهم و دهم به علت ابعاد زیاد ماتریس های تولید شده پردازنده جوابگوی حافظه مورد نیاز نبود، به همین دلیل مقادیر آنها در جدول مشاهده نمی شوند.

زمان اجرا : زمان حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک جهت تولید و اجرای روش برحسب ثانیه (چون زمان حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک جهت تولید جوابها برای هر سه مدل اختلاف خیلی جزئی با هم داشتند، بنابراین زمان حل هر سه مدل یکسان در نظر گرفته شده است).

جدول ۳-۵: بهترین مقدار حاصله از ۵ بار اجرای الگوریتم ژنتیک برای هر سه مدل

شماره مسأله	بهترین مقدار مدل ۱	بهترین مقدار مدل ۲	بهترین مقدار مدل ۳	زمان اجرا (ثانیه)
1	54167	62340	57587	5.2
2	69722	76780	72906	16.5
3	166918	175100	169960	72.9
4	208260	215502	212008	85.7
5	131810	144389	136946	66.3
6	221856	234408	226712	192.5
7	348860	357099	351444	529
8	375705	391120	381980	1077.4

## ۶- نتیجه گیری

از مشاهده نتایج به دست آمده از مسائل مختلف حل شده که در جداول نشان داده شده‌اند، می‌توان موارد زیر را استخراج نمود: ۱- با توجه به نتایج به دست آمده از حل هر سه مدل توسط الگوریتم ژنتیک و حل کننده cplex10.2 صحت عملکرد مدل‌ها کاملاً روشن است. ۲- حل کننده CPLEX با ورژن‌های بالا به علت استفاده از روش صفحات برشی، توانایی حل مسائل مختلف را در زمان‌های منطقی دارا بوده و توانایی محاسبه جواب‌های بهینه را دارد. با استفاده از این روش می‌توان تصمیمات بهینه را برای مدل ارائه شده در زنجیره تامین کالاها چند سطحی تولیدی-موجودی اتخاذ نمود. ۳- به دلیل ماهیت تصادفی بودن الگوریتم‌های فرا ابتکاری و به علت محدود بودن تعداد جواب‌های موجه بررسی شده به دلیل نیاز بالای الگوریتم برنامه‌ریزی خطی در نرم‌افزار MATLAB به زمان، نسبت به نرم افزار CPLEX از سرعت و دقت پائین تری برخوردار است. ۴- نتایج حاصله از جداول ۲-۵ و ۳-۵ برتری مدل ۱ نسبت به سایر مدل‌ها و برتری مدل ۳ نسبت به مدل ۲ را نشان می‌دهد، مدل ۱ برای سیستم‌هایی که در حالت ایده‌آل کار می‌کنند بهترین کاربرد را دارد و مدل ۲ برای سیستم‌هایی که در حالت واقعی کار می‌کنند طراحی شده است، که تقریباً ۸۰ درصد سیستم‌ها را شامل می‌شوند، چون در حالت واقعی همیشه مقداری از کالاها به هر عنوان دیر به فروش می‌رسند و تاریخ مصرفشان تمام می‌شود در نتیجه فاسد می‌گردند، که این مدل علاوه بر به حداقل رساندن هزینه‌ها، هزینه کالاها فاسد شده را نیز مینیمم می‌کند. مدل ۳ برای بهبود مدل ۲ طراحی شده است یعنی سیستمی که این مدل را بکار می‌گیرد از فاسد شدن کالاهایی که دیر به فروش می‌رسند جلوگیری می‌کند چون قبل از اتمام تاریخ انقضای این کالاها، برای به حداقل رساندن هزینه‌ها آنها را با تخفیف به فروش می‌رسانند.

## ۷- جمع بندی و تحقیقات آتی

مسائل متعددی با استفاده از داده‌های تصادفی تولید شدند، از نرم افزار CPLEX10.2 و الگوریتم ژنتیک در حل آنها استفاده شدند. اعتبار هر سه مدل با استفاده از این نتایج

مشخص گردیدند و برای هر نوع سیستمی با این ویژگی‌ها و فرضیات می‌توان سیاست بهینه‌ای برای تولید و توزیع به کار گرفت. می‌توان در تحقیقات آتی برای حل مدل ارائه شده در این تحقیق به پیاده‌سازی و بهبود سایر الگوریتم‌های فرا ابتکاری پرداخت. پارامترهای بکار رفته در این تحقیق بصورت تصادفی می‌باشند در تحقیقات آتی برای کارایی بیشتر مدل‌ها می‌توان از مقادیر دقیق استفاده کرد، و با به کار بردن حل کننده‌های قوی‌تری مثل CEPLEX11 و... می‌توان مدل‌هایی با ابعاد بزرگ را در مدت زمان کمتر و با دقت بیشتری حل کرد.

## منابع:

- 1-Goyal S.K. and Giri B.C., *Recent trends in modeling of deteriorating inventory*. European Journal of Operational Research, 2001. 134(1-16)
- 2-Simchi-Levi D., Kaminsky P., and Simchi-Levi E., *Designing and managing the supply chain: concepts, strategies and case studies*. 2000, NY, USA.: McGraw-Hill
- 3-Chopra S. , *Designing the distribution network in a supply chain*. Transportation Research Part E, 2003(39): p. 123-140.
- 4-Harland , C.M., *Supply Chain Management : Relationships, Chain and Networks*. 199 :۷ .p. 68-80.
- 5-Scott , C. and R. Westbrook, *New Strategic Tools for Supple Chain Management*. International Journal of Physical Distribution and Logistic Management 1991. 21: p. 23-31.
- 6-New, S. and P. Payne, *Research Framework in Logistics Management* International Journal of Physical Distribution and Logistic Management, 1995. 25: p. 60-77.
- 7-Baatz, E.B., *Best practice: The chain gang*. CIO, 1995(8): p. 46-52.7
- 8-Farmer, D., *Purchasing Myopia-Revisited*. European Journal of Purchasing

- transport equipment*. International Journal of Production Economics, 2000(65): p. 305-315.
- 19-Goyal, SK and B.C. Giri, *Recent trends in modeling of deteriorating inventory*. European Journal of Operational Research, 2001. 134: p. 1-16.
- 20-Whitin, T.M. and H.M. Wagner, *Dynamic version of the economic lot size model*. Management Science, 1958. 5: p. 89-96.
- 21-Misra, R.B., *production lot size model for a system with deteriorating inventory*. International Journal of Production Research, 1975. 13: p. 495-505.
- 22-Shah, Y.K. and M.C. Jiaswal, *A lot size model for exponentially deteriorating inventory with finite production rate*. Gujarat Statist, 1976. 3: p. 1-13.
- 23-Hwang, H.S., *A study on an inventory model for items with Weibull ameliorating*. Computers and Industrial Engineering, 1997. 33: p. 701-704.
- 24-Moon, I., B.C. Giri, and B. Ko, *Economic order quantity models for ameliorating/deteriorating items under inflation and time discounting*. European Journal of Operational Research, 2005. 162: p. 773-785.
- 25-Sarker, B.R., A.M.M. Jamal, and S. Wang, *Supply chain models for perishable products under inflation and permissible delay in payment*. Computers and Operations Research, 2000. 27, : p. 59-75.
- 26-Yang P.C. and Wee H.M., *A single-vendor and multiple buyers production-inventory policy for a deteriorating item*. European Journal of Operational Research, 200۲a(143): p. 570-581.
- 27-Rau, H., M.Y. Wu, and H.M. Wee, *Integrated inventory model for deteriorating items under a multi-echelon supply chain environment*. Int. J. Production Economics, 2003. 86: p. 155-168.
- 28-Chen, C. and W. Lee, *Multi-objective optimization of multi-ec helon supply chain networks with uncertain product demands and Supply Chain Management*, 1997. 3: p. 1-8.
- 9-Inman, R.A. and J.H. Hubler, *Certify The Process, Not just the Product*. Production and Inventory Management Journal, 1992(33): p. 11-14.
- 10-Ragatz, G.T., R.B. Handfield, and T.V. Scannell, *Success Factors for Integrating Suppliers into new Product Development*. Journal of Innovation Management, 1997(14): p. 190-202.
- 11-Geunes, J., P.M. Pardalos, and H.E. Romeijn, *Supply Chain Management: Models, Applications, and Research Directions*. 2005: Springer.
- 12-Erenguc S.S., Simpson N.C., and Vakharia A.J., *Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review*. European Journal of Operational Research, 1999. 115: p. 219-236.
- 13-sherbrook, C.C., *Metric: A Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control*. Operations Research, 1968. 16: p. 122-141.
- 14-Muckstadt, J.A., *A Model For a Multi-Item, Multi-Echolon, Multi-Indenture Inventory system*. Management Science, 1973. 20: p. 472-481.
- 15-Hill R.M, *The single-vendor single-buyer integrated production inventory model with a generalized policy*. European Journal of Operational Research, 1997(97): p. 493-499.
- 16-Bollapragada S., Akella R., and Srinivasan R., *Centralized ordering and allocation policies in a twoechelon system with non-identical warehouses*. European Journal of Operational Research, 1998. 106: p. 74-81.
- 17-Goyal S.K., *On improving the single-vendor single-buyer integrated production inventory model with a generalized policy*. european Journal of Operational Research, 2000. 125: p. 429-430.
- 18-Hoque M.A. and Goyal S.K., *An optimal policy for a single-vendor single-buyer integrated production-inventory system with capacity constraint of the*



- European Journal of Operational Research*, 177, 2069–2099
- 40-Zhou, G, Min, H., (2002) "The balanced allocation of customers to multiple distribution centers in the supply chain network : a genetic algorithm approach " , *Computers and Industrial Engineering* 43 , 251-261.
- 41-Hwang , H.S. , (2002) . "design of supply chain logistics system considering service level " , *computers and Industrial Engineering* 43, 283- 297.
- and prices. *Computers and Chemical Engineering* 2004. 28: p. 1131-1144.
- 29-Farahani, R. and M. Elahipanah, *Desgning and Solving a Model for Just-in-time Distribution in Supply Chain Management*, in *Amirkabir University*. 2006.
- 30-Wang, W., R.Y.K. Fung, and Y. Chai, *Approach of just-in-time distribution requirements planning for supply chain management* *International Journal of Production Economics*, 2003(91): p. 101- 107.
- 31-Ghare , P.M. and S.F. Schrader, *A Model for Exponentially Decaying Inventory*. *Journal of Industrial Engineering*, 1963(14): p. 283-293.
- 32-Shah, Y.K. and M.C. Jaiswall, *An Order Level Inventory Model for a System with Constant Rate of Deterioration*. *Operations Research*, 1977. 14: p. 174-184.
- 33-Philip, G.S. and R.B. Covert, *An EOQ Model with Weibull Distribution Deterioration*. *AIIE Transactions*, 1973. 5: p. 323-326.
- 34-Farahani, R. and M. Elahipanah, *A genetic algorithm to optimize the total cost and service level for just-in-time distribution in a supply chain*. *International Journal of Production Economics*, 2006(DOI:10.1016/j.ijpe.2006.11.028.)
- 35-E. Falkenauer, *Genetic Algorithms and Grouping Problems*. 1997: Wiley.35
- 36-Arnovan, R, L. J., and Ray., *Neural Network Training Using Genetic Algorithm*. World Scientific publishing, 1997.
- 37-Haupt, R.L. and S.E. Haupt, *Practical Genetic algorithms*. SECOND EDITION ed. 2004: JOHN WILEY & SONS , INC.
- 38-Gen, M and Chang, R, *Genetic Algorithm and Engineering Optimization*. 38 : ۲۰۰۰ John Wiley.
- 39- Naso, D., Surico, M., Turchiano, B., Kaymak, U., (2007), Genetic algorithms for supply-chain scheduling: A case study in the distribution of ready-mixed concrete,

