

مدیریت تولید و عملیات، دوره ششم، شماره (۲)، پیاپی (۱۱)، پاییز و زمستان ۱۳۹۴

دریافت: ۹۲/۷/۱۱ پذیرش: ۹۳/۷/۲۳

صص: ۷۸-۵۵

کاربرد مساله اندازه انباشته چند سطحی با در نظر گرفتن موجودی تخریب شدنی و هزینه‌های دفع

محمود وحدانی^۱، اردشیر دولتی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

۲- دانشیار دانشکده علوم پایه، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

چکیده

در این پژوهش، مدل مسأله اندازه انباشته چند سطحی^۱ مورد استفاده برای تعیین اندازه انباشته تولید در محیط‌های صنعتی، توسعه داده شده و مسأله جدیدی با عنوان مسأله اندازه انباشته چند سطحی با موجودی تخریب شدنی و هزینه‌های دفع^۲ ارائه می‌گردد. در مسأله ارائه شده، فرض موجودی تخریب شدنی^۳ به منظور با پوشش قرار دادن محصولات از قبیل الکل، گازوئیل، مواد رادیو اکتیو، مواد غذایی و سایر کالاهای تخریب شدنی به مدل مسأله اندازه انباشته چند سطحی افزوده شده است. علاوه بر این، میزانی هزینه با عنوان هزینه‌های دفع که بیانگر هزینه دور کردن موجودی‌های فاسد شده از محیط انبار با مدل تعمیم یافته ترکیب شده و این مدل را کامل تر و به واقعیت نزدیکتر می‌نماید. این هزینه دفع، شامل هزینه هر واحد دفع و هزینه ثابت دفع (مستقل از میزان موجودی فاسدشده) است. در مسأله جدید علاوه بر تعیین میزان تولید و زمان تولید هر یک از محصولات در هر یک از سطوح تولید، دوره‌های زمانی که در آن موجودی‌های فاسد شده دفع می‌شوند نیز تعیین می‌شوند و در تابع هدف مسأله نیز مجموع هزینه‌های دفع اضافه می‌گردد. از آنجایی که مسأله اندازه انباشته چند سطحی یک مسأله NP - $hard$ است، برای حل مسأله از دو الگوریتم فراابتکاری شامل الگوریتم ژنتیک^۴ و شبیه سازی تبرید^۵ استفاده می‌شود. به منظور مقایسه کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی با یکدیگر و همچنین، با روش‌های موجود در ادبیات موضوع، مسائل نمونه مطابق با پژوهش‌های پیشین ایجاد شده و به بررسی و تحلیل روش‌های حل پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: مسأله اندازه انباشته چند سطحی، موجودی تخریب شدنی، هزینه دفع، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم شبیه سازی تبرید

۱- مقدمه

در قرن گذشته مباحث تخصیص و تسطیح منابع محدود در برنامه‌ریزی تولید، تکامل قابل توجهی داشته است. برنامه‌ریزی تأمین مواد (MRP)^۶ یک روش مورد استفاده در تخصیص منابع محدود برنامه‌ریزی تولید برای تأمین قطعات و مواد اولیه محصولات نهایی است. به دنبال آن برنامه‌ریزی منابع ساخت (MRPII)^۷ و برنامه‌ریزی منابع سازمان (ERP)^۸ بر مبنای ساختار برنامه تولید سلسله مراتبی ایجاد شده است (خادمی زارع و همکاران ۱۳۸۹). با وجود این با جهانی شدن اقتصاد، رشد و پویایی بازارهای جهانی و نیازمندی‌های مشتریان، مقوله صرفه جویی هزینه‌های مربوطه در سیستم‌های تولیدی به عنوان یکی از مسائل مهم اقتصادی مطرح است. به همین علت MRP دیگر در سیستم‌های تولیدی کارا نیست زیرا فلسفه اصلی MRP، تضمین این است که تعداد درستی از اجزاء و در زمان درستی برای تأمین تقاضای کالاها برنامه‌ریزی شوند. در نتیجه MRP تنها یک جواب شدنی برای مسأله برنامه‌ریزی تولید- موجودی فراهم می‌کند، در حالی که شرکت‌ها به دنبال برنامه‌ریزی هستند که علاوه بر برآورده کردن تقاضا برای محصولات پایانی مجموع هزینه‌های مرتبط را نیز حداقل کند. در نتیجه، تعیین یک سیاست اندازه انباشته مناسب قطعا یک معیار کلیدی در کنترل موجودی است تا با قرار دادن اندازه تولیدهای مناسب کاهش قابل توجهی در هزینه‌های مرتبط با موجودی ایجاد کند. در سال ۱۹۵۸ میلادی وگنر و ویتین مسأله اندازه انباشته تک محصولی (SILSP)^۹ را معرفی کردند. این مدل نخستین

فرمول‌بندی از مسأله‌ی اندازه انباشته با تقاضا پویا است و با فرض اینکه فرایند تولیدی تنها شامل یک مرحله و یک محصول پایانی است و تقاضا در هر دوره مشخص و متغیر بر روی افق زمانی است، به مدل سازی این مسأله پرداختند. پس از وگنر و ویتین توسعه‌های زیادی بر روی مسأله اندازه انباشته انجام شد تا هر چه بیشتر این مسأله را به مسائل موجود در دنیای واقعی نزدیک‌تر کند.

یکی از توسعه‌های مسأله اندازه انباشته، مسأله اندازه انباشته چند سطحی است. سطوح تولید در واقع تعداد ایستگاه‌های کاری و یا تعداد عملیاتی است که محصول در طول فرایند تولید باید از آنها عبور کند. مسأله اندازه انباشته با سیستم تولید چندسطحی، یک فرایند تولیدی است که در آن اجزاء قطعات به وسیله‌ی تولید یا خرید به دست می‌آید. سپس زیرمونتازهای تولید به هم مونتاژ شده و در نهایت به محصول پایانی تبدیل می‌شوند. همه محصولات پایانی در سطح صفر ساختار تولید قرار می‌گیرند. محصولات سطحی که به طور مستقیم بر محصولات پایانی تأثیر می‌گذارند، در سطح یک قرار می‌گیرند و به همین ترتیب ادامه می‌یابد. در این سیستم، برای هر محصول علاوه بر تقاضای خارجی، تقاضای داخلی نیز از طریق محصولات سطوح بالاتر وجود دارد (براهیمی و همکاران ۲۰۰۶).

یکی دیگر از بسط‌های انجام شده روی مسأله اندازه انباشته، بحث موجودی تخریب شدنی است. موجودی‌های تخریب شدنی موجودی‌هایی هستند که حجم (مقدار) و یا ارزش آنها با گذشت زمان کاهش می‌یابد. کالاهایی مانند الکل، گازوئیل و مواد رادیو

بیانگر هزینه دور کردن موجودی‌های فاسد شده از محیط انبار و یا هزینه ضایعات است. این هزینه دفع، شامل هزینه هر واحد دفع و هزینه ثابت دفع (مستقل از میزان موجودی فاسدشده) است. در مسأله جدید علاوه بر تعیین میزان تولید و زمان تولید هر یک از محصولات در هر یک از سطوح تولید، دوره‌های زمانی که در آن موجودی‌های فاسد شده دفع می‌شوند نیز تعیین می‌شوند و در تابع هدف مسأله نیز حداقل کردن مجموع هزینه‌های دفع اضافه می‌گردد.

در ادامه ابتدا به مرور ادبیات مسأله اندازه انباشته با موجودی تخریب شدنی پرداخته و سپس به مدل‌سازی مسأله MLLSP-DIDC می‌پردازیم، سپس به بیان روش حل ابداعی برای حل این مسأله و آزمایش‌های عددی خواهیم پرداخت و در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی را خواهیم داشت.

۱- مرور ادبیات

تحقیق‌های زیادی روی موجودی‌های تخریب شدنی و فاسد شدنی انجام شده است. وینات^{۱۱} (۱۹۶۰)، ون زیل^{۱۲} (۱۹۶۴)، ناهمیاس و پی‌یرسکالا^{۱۳} (۱۹۷۳)، روی تعیین مقدار سفارش اقتصادی محصولات فاسد شدنی با عمر ثابت کار کردند. گاره و اسپارد^{۱۴} (۱۹۶۳) مسأله اندازه انباشته با موجودی تخریب شدنی را که در آن نرخ تخریب (کاهش ارزش موجودی) از توزیع وایبول پیروی می‌کرد را مدل‌سازی کردند. شاه^{۱۵} (۱۹۷۷) مدلی را به منظور تعیین سیاست سفارش‌دهی بهین برای موجودی‌های تخریب شدنی در سیستمی که در آن تقاضا به شکل نمایی افزایش می‌یافت و همچنین، دو انبار برای

اکتیو و مواد غذایی از این نوع موجودی‌ها هستند. از طرفی بسیاری از سیستم‌های تولید- موجودی در دنیای واقعی با هزینه‌های دور کردن ضایعات از محیط انبار مواجه هستند به طوری که کالاهای فاسد شده خود به معضلی در سیستم‌های تولید و انبارداری تبدیل شده است و اگر این ضایعات تفکیک نشده و از محیط تولید و انبار دور نشوند خود سبب افزایش نرخ تخریب موجودی‌های سالم نیز می‌شود. از سوی دیگر فرایند تفکیک کالاهای فاسد شده و دور کردن آنها از محیط انبار هزینه‌هایی را می‌طلبد که میزانی از این هزینه‌ها وابسته به مقدار کالای فاسد شده است و میزانی نیز مستقل از آن است (مانند هزینه‌های بالاسری، کاغذ بازی، حمل و ...). بنابراین، سیستم‌های تولید و انبارداری نیازمند برنامه‌ای نیز برای دفع موجودی‌های فاسد شده است به طوری‌که با کمترین هزینه این فرایند انجام شود. علاوه بر اهمیت برنامه‌ریزی در خصوص دفع موجودی‌های فاسد از محیط تولید و انبار، تقریباً هیچ پژوهشی این موضوع را در مدل‌سازی مسأله اندازه انباشته وارد نکرده است.

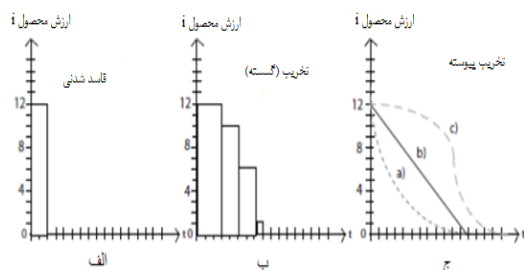
در این پژوهش، دو مدل مسأله اندازه انباشته با موجودی تخریب شدنی و مسأله اندازه انباشته چند سطحی را ترکیب کرده و علاوه بر این میزانی هزینه با عنوان هزینه‌های دفع برای موجودی فاسد شده در نظر می‌گیریم. به مدل‌سازی و حل این مسأله جدید با عنوان " مسأله اندازه انباشته چند سطحی با موجودی تخریب شدنی و هزینه‌های دفع"، که به طور اختصار با MLLSP-DIDC^۱ نشان می‌دهیم، خواهیم پرداخت. در مسأله ارائه شده هزینه‌های دفع

نگهداری کالاها استفاده می‌شد، توسعه دادند. کاجن^{۱۶} (۱۹۷۷)، موجودی‌های تخریب شدنی را که در آن نرخ تخریب از توزیع نمایی پیروی می‌کرد را در نظر گرفته و به تعیین نرخ قیمت و سطوح تولید پرداختند. تادیکامالا^{۱۷} (۱۹۷۸) تعیین مقدار سفارش اقتصادی کالاهایی که نرخ تخریب در آنها از توزیع گاما پیروی می‌کرد را بررسی کردند. ناهمپاس و ونگ^{۱۸} (۱۹۷۹) مسأله اندازه انباشته با موجودی‌های تخریب شدنی که در آن تخریب موجودی به شکل پیوسته تخریب می‌شوند را در نظر گرفتند و از روشی ابتکاری برای حل آن استفاده کردند. کارونا و ادوارد^{۱۹} (۱۹۹۴) یک مدل برنامه ریزی پویای تصادفی برای تعیین مقدار سفارش اقتصادی بهین برای محصولات تخریب شدنی ارائه دادند. آنها عمر محصولات را تصادفی در نظر گرفتند به طوری که در پایان هر دوره، کل موجودی باقی مانده یا بی ارزش می‌شود و یا برای حداقل یک دوره ی بعد قابل استفاده می‌ماند. خداهیری و تاج^{۲۰} (۲۰۰۷) موجودی را تخریب شدنی در نظر گرفتند و فرض کردند که نرخ تخریب از توزیع وایبول پیروی می‌کند که به طور تجربی مشاهده شده برای محصولات مانده مواد غذایی منجمد، بستنی، شیر پاستوریزه و... صحیح است. کینگو و همکاران^{۲۱} (۲۰۰۸) مسأله اندازه انباشته‌ی اقتصادی با موجودی فاسد شدنی را بررسی کردند که در آن سفارش عقب افتاده مجاز بود و شخص می‌توانست تقاضای یک دوره را (در شکل لزوم) در دوره‌های بعد با میزانی جریمه برآورده کند. اچسو و همکاران^{۲۲} (۲۰۱۰) سیستم کنترل موجودی با کالاهای از نوع تخریب شدنی در نظر گرفتند و به تعیین سیاستی بهینه برای سفارش‌دهی از طریق کاهش نرخ تخریب موجودی‌ها با استفاده از

تکنولوژی‌های محافظتی پرداختند. وحدانی و همکاران (۲۰۱۳) روی مسأله اندازه انباشته با موجودی تخریب شدنی که در آن چند انبار با نرخ تخریب متفاوت در دسترس است کار کردند. اخیرا باکر و همکاران^{۲۳} (۲۰۱۲) بررسی جامعی از تلاش‌های انجام شده در زمینه کنترل موجودی کالاهای فاسد شدنی و تخریب شدنی ارائه داده‌اند. آنها به جستجوی مقالات منتشر شده در زمینه کنترل موجودی کالاهای فاسد شدنی و تخریب شدنی از ابتدای سال ۲۰۰۱ تا پایان سال ۲۰۱۱ بر مبنای کلمات کلیدی انتخاب شده از چند ژورنال معتبر پرداختند. آنها موفق به یافتن ۲۲۷ پژوهش مرتبط شدند و آنها را بر اساس نوع تخریب شدن (چرخه عمر) موجودی و تقاضا طبقه‌بندی کردند.

مقالات زیادی مرتبط با موجودی تخریب شدنی وجود دارد. با وجود این تقریباً تمام مدل‌های موجود در ارتباط با مسائلی هستند که در آنها تقاضا مستقل هستند یا به عبارت دیگر تمامی مدل‌ها مربوط به مسائل با افق زمانی پیوسته است. تمامی ادبیات ذکر شده در بالا متعلق به این دسته از مسائل اندازه انباشته است. وی و شام^{۲۴} (۱۹۹۹) ادعا کردند که در نظر گرفتن موجودی تخریب شدنی در سیستم‌های MRP (تقاضای وابسته یا افق زمانی گسسته) تقریباً وجود ندارد و یک روش برای وارد کردن تاثیر موجودی تخریب شدنی در سیستم‌های MRP تک سطحی معرفی کردند. بر طبق تحلیل آنها، در نظر گرفتن موجودی تخریب شدنی به طور معناداری بر کل هزینه‌های مرتبط و سیاست‌های تصمیم‌گیری تاثیر می‌گذارد (در پژوهش آنها با در نظر گرفتن نرخ تخریب ۰.۴٪، کل هزینه‌های مرتبط تقریباً ۳۵٪ افزایش

در آن شکل (الف) چگونگی فاسد شدن را نشان می‌دهد که ارزش موجودی به یکباره به صفر می‌رسد. شکل (ب) نحوه ی کاهش ارزش برای موجودی تخریب شدنی گسسته را نشان می‌دهد و شکل (ج) چگونگی کاهش ارزش برای موجودی تخریب شدنی پیوسته را نشان می‌دهد که شامل سه منحنی a و b و c است که تغییر ارزش محصول نسبت به زمان در آن ها به ترتیب به شکل محدب، خطی و مقعر تغییر می‌کند.



شکل ۱- روند فاسد شدن و تخریب شدن موجودی (پاهل و همکاران ۲۰۱۱)

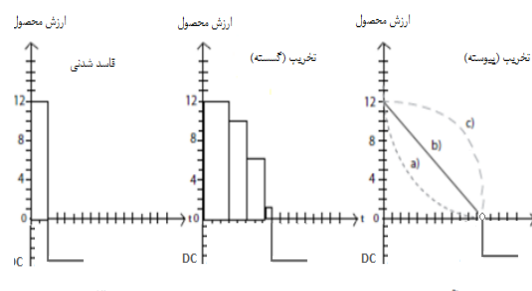
بر اساس مرور شکل در گرفته در ادبیات موضوع مشخص گردید که علی رغم اهمیت برنامه‌ریزی برای دفع موجودی‌های فاسد شده، تا کنون هیچ پژوهشی این موضوع را در مدل‌سازی مسأله اندازه انباشته وارد نکرده است. بنابراین، ما در این پژوهش به معرفی توسعه جدیدی از مسأله اندازه انباشته که در آن به شکل توأم موجودی تخریب شدنی و هزینه‌های دفع موجودی‌های فاسد شده در نظر گرفته شده خواهیم پرداخت. بدین منظور، ما در ادامه کار انجام شده توسط پاهل و همکاران (۲۰۱۱)، ارزش موجودی

می‌یافت) و در نتیجه حتماً بایستی تاثیر آنها را در سیستم‌های MRP در نظر گرفت. آنها سپس دو الگوریتم ابتکاری حداقل هزینه دوره 25 (LPC) و حداقل هزینه واحد 26 (LUC) را برای حل این مسأله اصلاح کردند. در ادامه هوو و همکاران 27 (۲۰۰۷) سه الگوریتم ابتکاری حداقل هزینه دوره‌ای خالص 28 (nLPC)، حداقل هزینه کل 29 (LTC) و الگوریتم سهم دوره 30 (PPA) را برای مسأله اندازه انباشته با موجودی تخریب شدنی، اصلاح کردند. آنها با انجام آزمایش‌های عددی این سه الگوریتم را با الگوریتم‌ها ارائه شده توسط وی و شام (۱۹۹۹) مقایسه کردند و مشاهده کردند که الگوریتم nLPC بهترین عملکرد را دارد. چوو و همکاران 31 (۲۰۰۵) یک مسأله اندازه انباشته اقتصادی را در نظر گرفتند که در آن هزینه نگهداری موجودی و همچنین، نرخ تخریب موجودی در پایان هر دوره وابسته به عمر (تعداد دوره‌هایی که از سفارش آن گذشته یا تعداد دوره‌هایی که در انبار نگهداری شده) آن بود. کارهای انجام شده توسط اچسو 32 (۲۰۰۰) و اچسو (۲۰۰۳) نیز مربوط به این دسته از مسائل (افق زمانی گسسته) هستند.

پاهل و همکاران 33 (۲۰۱۰) مسأله‌ی اندازه انباشته گسسته چند محصولی و تک سطحی که شامل محدودیت‌های تخریب شدن و از بین رفتن محصول بود، را مدل‌سازی کردند. همچنین، پاهل و همکاران (۲۰۱۱) مسأله‌ی اندازه انباشته با موجودی تخریب شدنی را با در نظر گرفتن هزینه‌ی راه‌اندازی وابسته به توالی مدل‌سازی کردند. آنها چگونگی تغییر ارزش کالا روی افق زمانی برای محصولات فاسد شدنی و تخریب شدنی را به شکل شکل (۱) نشان دادند. که

نگهداری شود، تنها درصدی از آن به شکل موجودی سالم به دوره بعد منتقل می‌شود و درصدی از محصول فاسد شده و در انبار بلااستفاده باقی می‌ماند. این موجودی فاسد شده نه تنها ارزشی ندارد بلکه میزانی هزینه برای دفع آن از انبار و محیط تولید باید پرداخت شود. این هزینه شامل هزینه دفع هر واحد کالای فاسد شده، به علاوه، میزانی هزینه ثابت دفع برای هر بار دفع است که مستقل از میزان کالای فاسد شده بوده و هزینه‌های ثابتی مانند هزینه‌های بالاسری، هزینه‌های کاغذ بازی و . . . برای دفع موجودی فاسد شده است. در هر دوره زمانی می‌توان موجودی فاسد شده در دوره قبل را دفع کرد و یا آن را نگهداری و در دوره‌های بعد دفع کرد. به منظور سرشکن شدن هزینه ثابت دفع، می‌توان موجودی فاسد شده چند دوره را نگهداری و در یک دوره زمانی دفع کرد ولی این امر یعنی نگهداری موجودی فاسد شده در انبار یا محیط تولید سبب افزایش نرخ تخریب خواهد شد. به طوریکه این افزایش نرخ تخریب، به درصد موجودی فاسد موجود در انبار بستگی دارد. به عنوان مثال محصولاتی مانند سبزیجات و مواد غذایی را در نظر بگیرید. در این محصولات وجود محصول فاسد شده، سبب افزایش یافتن نرخ تخریب خواهد شد، به طوریکه وجود محصول فاسد شده بیشتر سبب افزایش نرخ فاسد شدن (نرخ تخریب) خواهد شد. بنابراین، در این مسأله علاوه بر تعیین اندازه انباشته تولید در هر سطح و در هر دوره زمانی، به دنبال تعیین سیاست بهین برای زمان دفع موجودی فاسد شده می‌باشیم به طوریکه مجموع هزینه‌های تولیدی (شامل هزینه‌های متغیر تولید و هزینه‌های راه اندازی)، هزینه‌های نگهداری موجودی و هزینه‌های

فاسد شده را منفی و میزانی هزینه برای آن در نظر می‌گیریم. توجه این امر را نیز می‌توان هزینه‌های دفع موجودی فاسد شده بیان کرد. به عبارت دیگر وقتی ارزش موجودی به صفر می‌رسد و تبدیل به محصولی غیر مفید و یا زباله می‌شود، نه تنها دیگر ارزشی ندارد بلکه هزینه‌هایی را برای دفع آن از محیط تولید باید پردازیم. بنابراین، می‌توان شکل (۱) را به صورت شکل (۲) تغییر داد.



شکل ۲- روند فاسد شدن و تخریب شدن موجودی با در نظر گرفتن هزینه دفع

۲- تعریف مسأله و مدل‌سازی

سیستم تولیدی را در نظر بگیرید که در آن فرایند تولید محصول پایانی شامل چند مرحله یا عملیات است. در این سیستم تولید برای هر یک از محصولات میانی علاوه بر تقاضای داخلی یا تقاضای وابسته توسط محصولات پس‌نیاز، میزانی تقاضای خارجی نیز وجود دارد. محصولات تولیدی در این سیستم، اعم از محصولات پایانی، محصولات میانی و همچنین، مواد اولیه از نوع تخریب شدنی در نظر گرفته می‌دهد. به عبارت دیگر، اگر محصول به شکل موجودی در انبار به منظور استفاده در دوره‌های بعد

- دفع موجودی (شامل هزینه دفع هر واحد موجودی فاسد شده و هزینه ثابت دفع) حداقل شود.
- علاوه بر این، مسأله مورد مطالعه مفروضاتی دارد که عبارتند از:
 - افق زمانی مسأله محدود و گسسته است.
 - تقاضا در هر دوره زمانی مشخص، قطعی و پویا است.
- ظرفیت تولید در دسترس در هر دوره زمانی نامحدود است.
- ظرفیت انبار در هر دوره زمانی نامحدود است.
- سفارش عقب افتاده مجاز نیست

• جدول ۱- تعریف پارامترها و متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم	پارامترها
$X_{i,t}$: میزان تولید محصول i ام در دوره زمانی t .	m : تعداد محصولات.
$I_{i,t}$: میزان موجودی ناخالص انتقال داده شده از محصول i ام در دوره زمانی t .	T : تعداد دوره‌های زمانی.
$Id_{i,t}$: میزان موجودی فاسد از محصول i ام در دوره زمانی t .	$d_{i,t}$: میزان تقاضا محصول i در دوره زمانی t ام.
$B_{i,t}$: نرخ تخریب موجودی برای محصول i ام در دوره زمانی t .	$r_{i,j}$: میزانی از محصول i که برای تولید یک واحد از محصول j مورد نیاز است.
$Y_{i,t}$: متغیر دوتایی راه اندازی برای محصول i ام در دوره زمانی t (اگر در دوره t ام محصول i ام تولید شود برابر است با ۱ و در غیر این شکل برابر است با صفر)	$Sc_{i,t}$: هزینه راه اندازی محصول i ام در دوره زمانی t ام.
$S_{i,t}$: متغیر دوتایی دفع موجودی فاسد (اگر در انتهای دوره زمانی t ام، موجودی فاسد شده از محصول نوع i ام دفع شود برابر است با ۱ و در غیر این شکل برابر است با صفر)	$Vc_{i,t}$: هزینه تولید هر واحد محصول i در دوره زمانی t ام.
	$hc_{i,t}$: هزینه نگهداری هر واحد محصول i در دوره زمانی t ام.
	$Fdc_{i,t}$: هزینه ثابت هر بار دفع برای محصول i در دوره زمانی t ام.
	$DC_{i,t}$: هزینه هر واحد دفع محصول i در دوره زمانی t ام.
	α : نرخ تخریب موجودی در شکل عدم وجود موجودی فاسد.
	λ : میزان افزایش نرخ تخریب به ازای وجود هر واحد موجودی فاسد.
	مجموعه $D(i)$ ، مجموعه محصولات پس نیاز برای محصول i ام را نشان می‌دهد.

- تأخیرهای زمانی راه اندازی و تولید صفر در نظر گرفته شده است.
- مسأله اندازه انباشته با ظرف بزرگ زمانی است و امکان تولید چند محصول در هر دوره زمانی وجود دارد.
- سفارش عقب افتاده مجاز نیست.
- در جدول (۱) پارامترها و متغیرهای تصمیم به کار گرفته شده در مدل تعریف شده‌اند. بر این اساس

مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط برای *MLLSP-DIDC* به شکل مجموعه معادلات (۱) تا (۹) فرموله می‌شود.

تشریح مدل:

تابع هدف (۱) مسأله به دنبال حداقل کردن مجموع هزینه‌های راه‌اندازی، تولید محصول، نگهداری موجودی و هزینه‌های دفع شامل هزینه ثابت و متغیر دفع بر روی تمام محصولات در کل افق زمانی است. محدودیت (۲) و (۳)، محدودیت‌های بالانس موجودی است و بیان می‌کند که در هر دوره زمانی و برای هر محصول، از موجودی خالص انتقال داده شده از دوره قبل به علاوه‌ی تولید در آن دوره برای برآورده کردن مجموع تقاضاهای داخلی (تقاضای وابسته) و تقاضای خارجی استفاده می‌شود و باقی به شکل موجودی به دوره زمانی بعد انتقال می‌یابد. محدودیت (۴) نرخ تخریب موجودی برای

محصول i ام در دوره زمانی t ام را نشان می‌دهد. این نرخ در شکل عدم وجود موجودی فاسد از محصول i در دوره زمانی t یعنی $S_{i,t-1}=1$ یا $Id_{i,t-1}=0$ برابر نرخ ثابت α است و در غیر این شکل به ازای وجود هر واحد محصول فاسد به میزان λ به این نرخ اضافه می‌شود. محدودیت (۵) نیز میزان موجودی فاسد موجود از محصول i در دوره زمانی t را نشان می‌دهد که این میزان برابر موجودی فاسد شده در همان دوره به علاوه موجودی فاسد انتقال داده شده از دوره زمانی قبل در شکل عدم دفع موجودی است. محدودیت (۶)، که در آن M یک عدد بزرگ است، بیان می‌کند که در شکل وجود موجودی فاسد شده از هر محصول در یک دوره زمانی، این موجودی باید در آن دوره و یا یکی از دوره‌های زمانی باقی مانده تا پایان افق زمانی دفع گردد.

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^T (Sc_{i,t}y_{i,t} + Vc_{i,t}x_{i,t} + hc_{i,t}I_{i,t} + Fdc_{i,t}S_{i,t} + Dc_{i,t}\beta_{i,t}I_{i,t}) \quad (1)$$

subject to:

$$\begin{aligned} (1 - \beta_{i,t-1}) \cdot I_{i,t-1} + x_{i,t} &= \sum_{j \in D(i)} r_{ij} x_{j,t} + d_{i,t} + I_{i,t} & \forall 2 \leq i \leq m, 1 \leq t \leq T & \text{محدودیت ۲} \\ (1 - \beta_{1,t-1}) \cdot I_{1,t-1} + x_{1,t} &= d_{1,t} + I_{1,t} & \forall 1 \leq t \leq T & \text{محدودیت ۳} \\ \beta_{i,t} &= \alpha + (Id_{i,t-1} \cdot \lambda) \cdot (1 - S_{i,t-1}) & \forall 1 \leq i \leq m, 1 \leq t \leq T & \text{محدودیت ۴} \\ Id_{i,t} &= \beta_{i,t} \cdot I_{i,t} + Id_{i,t-1} \cdot (1 - S_{i,t-1}) & \forall 1 \leq i \leq m, 1 \leq t \leq T & \text{محدودیت ۵} \\ Id_{i,t} &\leq M \cdot \sum_{\tau=1}^T S_{i,\tau} & \forall 1 \leq i \leq m, 1 \leq t \leq T & \text{محدودیت ۶} \\ x_{i,t} &\leq M \cdot y_{i,t} & \forall 1 \leq i \leq m, 1 \leq t \leq T & \text{محدودیت ۷} \\ y_{i,t}, S_{i,t} &= 0 \text{ or } 1 & \forall 1 \leq i \leq m, 1 \leq t \leq T & \text{محدودیت ۸} \\ I_{i,t}, \beta_{i,t}, x_{i,t}, Id_{i,t} &\geq 0 & \forall 1 \leq i \leq m, 1 \leq t \leq T & \text{محدودیت ۹} \end{aligned}$$

$$I_{i,t-1} \cdot x_{i,t} = 0, \text{ for all } i \text{ and } t \quad (2)$$

$$\text{if } x_{i,t} > 0 \text{ then, } x_{i,t} = d_{i,t,\beta} \quad (3)$$

for some $t \leq \alpha \leq \beta$

که در آن $d_{i,t,\beta}$ به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$d_{i,t,\beta} = d_{i,t} + d_{i,t+1} + d_{i,t+2} + \dots + d_{i,\beta} \quad (4)$$

به عبارت دیگر در هر دوره زمانی برای هر محصول، یا از موجودی دوره‌های قبل برای برآورده کردن تقاضا (داخلی یا خارجی) استفاده می‌کنیم و یا از تولید در همان دوره و هیچ گاه همزمان انتقال موجودی از دوره قبل و تولید را نخواهیم داشت.

با توجه به اصل بهینگی ذکر شده، در مساله اندازه انباشته کلاسیک تنها با تعیین دوره‌های زمانی تولید در افق زمانی می‌توان میزان تولید در هر مرحله و در نتیجه میزان موجودی انتقال یافته در هر دوره زمانی را تعیین کرد. اما در مساله MLLSP-DIDC به منظور حصول متغیرهای تصمیم، باید علاوه بر تعیین دوره‌های زمانی تولید، دوره‌های زمانی که در آن تصمیم به دفع موجودی داریم نیز مشخص شوند. در نتیجه نمایش جواب پیشنهادی برای مساله MLLSP-DIDC به شکل دو ماتریس مجزای $m \times T$ بُعدی Y و S با درایه‌های باینری صفر و یک است، به طوریکه بردار Y نشان دهنده دوره‌های زمانی تولید و بردار S نشان دهنده دوره‌های زمانی دفع موجودی برای تمام محصولات است. به عبارت دیگر:

به طوری که $(1 \leq i \leq m, 1 \leq t \leq T)$ با یک برابر است، اگر در دوره زمانی t برای محصول i راه‌اندازی انجام شود و در غیر این شکل با صفر برابر است. همچنین، $(1 \leq i \leq m, 1 \leq t \leq T)$ با یک برابر است اگر در دوره زمانی t تصمیم به دفع موجودی فاسد از

محدودیت (۷)، که مجدداً در آن M عددی بزرگ است، تضمین می‌کند که در هر بار تولید باید راه‌اندازی دستگاه انجام گردد. در نهایت محدودیت (۸) باینری بودن متغیرهای راه‌اندازی و دفع موجودی و محدودیت (۹) نیز پیوسته و غیر منفی بودن متغیرهای موجودی ناخالص، نرخ تخریب، مقدار تولید و موجودی فاسد را نشان می‌دهد.

۳- روش حل پیشنهادی

از آنجایی که مسائل اندازه انباشته چند سطحی NP-hard هستند (استینبرگ و ناپیر ۱۹۸۰^{۳۴})، تنها نمونه‌های کوچک این مساله می‌توانند در مدت زمان منطقی حل شوند. به همین علت ابزار اصلی مورد استفاده ما برای حل این مساله استفاده از روش‌های فراابتکاری خواهد بود. در این پژوهش، از دو الگوریتم فراابتکاری SA و GA برای حل مساله استفاده شده است. ابتدا به تشریح نمایش جواب پیشنهادی خواهیم پرداخت و سپس با اصل بهینگی که در ادامه گفته خواهد شد به چگونگی محدود کردن فضای جواب و جستجوی الگوریتم‌های SA و GA در این فضا خواهیم پرداخت.

۳-۱- نمایش جواب پیشنهادی

به منظور ارائه نمایش جواب پیشنهادی برای مساله MLLSP-DIDC ابتدا اصل بهینه‌سازی زیر تعریف می‌شود (پاچت و والسی ۲۰۰۶^{۳۵}).

اصل بهینگی: برای هر مساله اندازه انباشته بدون ظرفیت چند سطحی، یک جواب بهینه وجود دارد به طوری که داریم:

محصول i شود و در غیر این صورت با صفر برابر است.

با استفاده از دو ماتریس S و Y می‌توان مقدار تولید از هر محصول در هر دوره زمانی را تعیین کرد. البته به شرط آن که ابتدا میزان تولید تمام محصولات پس نیاز آن محصول تعیین شده و در نتیجه میزان تقاضای داخلی برای آن محصول در هر دوره زمانی مشخص شده باشد. میزان تقاضای کل (تقاضای داخلی به علاوه تقاضای خارجی) برای هر محصول به شکل زیر به دست می‌آید:

$$Y = \begin{bmatrix} y_{1,1}, y_{1,2}, \dots, y_{1,T} \\ y_{2,1}, y_{2,2}, \dots, y_{2,T} \\ \vdots \\ y_{m,1}, y_{m,2}, \dots, y_{m,T} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$S = \begin{bmatrix} s_{1,1}, s_{1,2}, \dots, s_{1,T} \\ s_{2,1}, s_{2,2}, \dots, s_{2,T} \\ \vdots \\ s_{m,1}, s_{m,2}, \dots, s_{m,T} \end{bmatrix}$$

$$Td_{i,t} = d_{i,t} + \sum_{j \in D(i)} r_{i,j} \cdot x_{j,t}, \quad \text{for } 2 \leq i \leq m, 1 \leq t \leq T \quad (6)$$

$$\text{and } Td_{1,t} = d_{1,t}, 1 \leq t \leq T$$

که در آن $Td_{i,t}$ تقاضای کل از محصول i در دوره زمانی t ام است و مقدار آن با میزان تقاضای خارجی از محصول i در دوره زمانی t ام ($d_{i,t}$) به علاوه مجموع تقاضای داخلی از محصول i در دوره

زمانی t ام برابر است. تقاضای داخلی توسط هر محصول پس نیاز برابر با میزان تولید از آن محصول ضربدر نسبت $r_{i,j}$ که برابر تعداد محصول مورد نیاز از محصول i برای تولید هر واحد محصول j ام است. همچنین، توجه شود برای محصول پایانی (محصول شماره ۱)، محصول پس نیاز و در نتیجه تقاضای داخلی وجود ندارد. در نتیجه محاسبات مربوط به تقاضای کل و سایر محاسبات باید از محصول شماره ۱ که اولاً خود تقاضای داخلی ندارد و ثانیاً تقاضای داخلی برای سایر محصولات را مشخص می‌کند، آغاز شود.

با مشخص بودن ماتریس‌های Y و S و محاسبه‌ی تقاضای کل برای محصول i در دوره‌های زمانی t ($1 \leq t \leq T$) میزان تولید و سایر متغیرهای تصمیم به شرح ذیل قابل محاسبه خواهد بود:

اگر $y_{i,t} = 1$ باشد، میزان تولید از محصول i در دوره زمانی t برابر است با مجموع تقاضاهای متورم شده از محصول i از دوره زمانی t تا دوره زمانی $t'-1$ به طوریکه $y_{i,t'} = 1$ و $y_{i,j} = 0$ ($t < j < t'$). اگر $y_{i,t} = 0$ باشد، میزان تولید از محصول i در دوره زمانی t با صفر برابر است.

توجه شود، در بالا از اصطلاح "تقاضای متورم شده" استفاده شد زیرا موجودی در نظر گرفته شده از نوع تخریب شدنی است و به عنوان مثال برای برآورده کردن تقاضای دوره‌های t تا e به وسیله‌ی تولید در دوره t ، اندازه انباشته برابر است با:

$$x_{i,t} = Td_{i,t} + \sum_{\tau=t+1}^e \frac{Td_{i,\tau}}{\prod_{j=i}^{\tau-1} (1 - \beta_{i,j})} \quad (7)$$

موجودی فاسد از محصول i در دوره زمانی اول خواهند شد. اما همانطور که می‌دانیم در دوره زمانی اول $I_{i,1}$ برابر است با:

$$I_{i,1} = x_{i,1} - Td_{i,1} \quad (12)$$

همچنین، $\beta_{i,1}$ مقداری ثابت و برابر با α (نرخ تخریب ثابت در هر دوره زمانی) است. در نتیجه مقدار $Id_{i,1}$ نیز به راحتی برحسب $I_{i,1}$ به دست می‌آید ($Id_{i,1} = \alpha \cdot I_{i,1}$) و در ادامه در دوره زمانی دوم به ترتیب می‌توان مقادیر $I_{i,2}$ ، سپس $\beta_{i,2}$ و سپس $ID_{i,2}$ را برحسب $I_{i,1}$ نوشت.

همچنین، رابطه (۸) را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$x_{i,t} - Td_{i,t} = \frac{Td_{i,t+1}}{(1 - \beta_{i,t})} + \frac{Td_{i,t+2}}{(1 - \beta_{i,t}) \times (1 - \beta_{i,t+1})} + \dots + \frac{Td_{i,e}}{(1 - \beta_{i,t}) \times (1 - \beta_{i,t+1}) \times \dots \times (1 - \beta_{i,e-1})} \quad (13)$$

یا

$$I_{i,t} = \frac{Td_{i,t+1}}{(1 - \beta_{i,t})} + \frac{Td_{i,t+2}}{(1 - \beta_{i,t}) \times (1 - \beta_{i,t+1})} + \dots + \frac{Td_{i,e}}{(1 - \beta_{i,t}) \times (1 - \beta_{i,t+1}) \times \dots \times (1 - \beta_{i,e-1})} \quad (14)$$

حال در این رابطه می‌توان تمام متغیرهای $\beta_{i,t}$ و همچنین، $I_{i,t}$ را برحسب $I_{i,1}$ نوشت و در نتیجه معادله به دست آمده را برحسب $I_{i,1}$ حل کرده و به طور بازگشتی سایر متغیرهای $I_{i,t}$ ، $\beta_{i,t}$ و $Id_{i,t}$ را به دست آورد.

به منظور درک بیشتر به مثال زیر توجه کنید:

در این رابطه، اندیس i نشان دهنده محصول i و اندیس‌های j و τ نشان دهنده دوره زمانی هستند. این رابطه را می‌توان به شکل زیر نیز نشان داد:

$$x_{i,t} = Td_{i,t} + \frac{Td_{i,t+1}}{(1 - \beta_{i,t})} + \frac{Td_{i,t+2}}{(1 - \beta_{i,t}) \times (1 - \beta_{i,t+1})} + \dots + \frac{Td_{i,e}}{(1 - \beta_{i,t}) \times (1 - \beta_{i,t+1}) \times \dots \times (1 - \beta_{i,e-1})} \quad (8)$$

اما همان طور که در مدل‌سازی مسأله مشاهده شد، $\beta_{i,t}$ (نرخ تخریب محصول i در دوره t) در این رابطه خود متغیر تصمیم است. با این حال می‌توان آن را به شکل زیر به دست آورد:

$$\beta_{i,t} = \alpha + \lambda \cdot Id_{i,t-1} \cdot (1 - s_{i,t-1}) \quad (9)$$

در این رابطه مقدار $s_{i,t-1}$ مشخص است (با استفاده از ماتریس S)، ولی $Id_{i,t-1}$ (میزان موجودی فاسد از محصول i در دوره زمانی $t-1$) متغیر تصمیم است و مقدار آن برابر است با:

$$Id_{i,t-1} = \beta_{i,t-1} \cdot I_{i,t-1} + Id_{i,t-2} \cdot (1 - s_{i,t-2}) \quad (10)$$

در این رابطه نیز $I_{i,t-1}$ (میزان موجودی ناخالص از محصول i در دوره زمانی $t-1$) به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{i,t-1} = (1 - \beta_{i,t-2}) \cdot I_{i,t-2} - d_{i,t-1} \quad (11)$$

همان طور که مشاهده می‌شود روابط (۹)، (۱۰) و (۱۱) کاملاً برگشتی هستند یعنی در نهایت هر یک از متغیرهای $I_{i,t}$ ، $\beta_{i,t}$ و $Id_{i,t}$ تابعی از مقادیر $I_{i,1}$ ، $B_{i,1}$ و $ID_{i,1}$ یعنی موجودی محصول i در دوره زمانی اول، نرخ تخریب محصول i در دوره زمانی اول و

مثال

$$x_1 - Td_1 = \frac{Td_2}{(1-\beta_1)} + \frac{Td_3}{(1-\beta_1)(1-\beta_2)}$$

$$\rightarrow I_1 = \frac{2}{(1-0.1)} + \frac{1}{(1-0.1)(1-0.1-0.001I_1)}$$

با ساده کردن این معادله داریم:

$$0.0009I_1^2 - 0.812I_1 + 2.8 = 0$$

ریشه‌های این معادله عبارتند از ۸۶٫۶ و ۳٫۴۶، هر دو ریشه قابل قبول و درست هستند اما چون هدف ما کاهش هزینه‌ها است، جواب کوچکتر را انتخاب می‌کنیم. در نتیجه داریم:

$$\beta_2 = 0.1 + 0.001I_1 = 0.1003$$

در دوره‌های زمانی ۲ و ۳ و ۵ چون y_t برابر صفر است، میزان تولید برابر صفر است. اما در دوره زمانی ۴ داریم:

$$x_4 = Td_4 + \frac{Td_5}{(1-\beta_4)} \rightarrow x_4 - Td_4 = \frac{3}{(1-\beta_4)}$$

$$\rightarrow I_4 = \frac{3}{(1-\beta_4)}$$

$$\beta_4 = 0.1 + 0.01 \times Id_3 \times (1-s_3) = 0.1$$

$$\rightarrow I_4 = \frac{3}{0.9} = 3.33$$

$$x_4 = 3.33 + 8 = 11.33$$

$$Id_4 = 0.1I_4 = 0.33$$

$$\beta_5 = 0.1 + 0.001 \times 0.33 = 0.1003$$

$$I_5 = 0.9I_4 - 3 = 0$$

$$Id_5 = 0.33$$

خلاصه جواب نهایی در جدول (۳) آورده شده است. (لازم به ذکر است که در محاسبات اعداد تا دو رقم اعشار گرد شده اند.)

جدول ۳- خلاصه جواب‌های مثال

دوره زمانی	۱	۲	۳	۴	۵
x_t	۴۶/۱۳	۰	۰	۱۱/۳۳	۰
β_t	./۱	./۱۰۰۳	./۱	./۱	./۱۰۰۳
I_t	۳/۴۶	۱/۱۱	۰	۳/۳۳	۰
Id_t	./۳۴	./۴۵	۰	./۳۳	./۳۳

مسئله اندازه انباشته تک سطحی شامل ۵ دوره زمانی و ۱ محصول را در نظر بگیرید. نرخ تخریب ثابت برابر ۰٫۱ ($\alpha=0.1$) و میزان افزایش نرخ تخریب به ازای وجود هر واحد محصول فاسد ۰٫۰۱ ($\lambda=0.01$) است. میزان تقاضای کل برای این محصول در جدول (۲) آورده شده است. همچنین، ماتریس‌های S و Y مشخص و به شکل ذیل است. می‌خواهیم جواب متناظر با این ماتریس‌ها را به دست آوریم.

$$Y=[1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]$$

$$S=[0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1]$$

جدول ۲- میزان تقاضای کل در هر دوره زمانی

دوره زمانی	۱	۲	۳	۴	۵
تقاضا کل	۱۰	۲	۱	۸	۳

حل:

میزان تولید در دوره ۱ برابر است با:

(توجه: چون تنها یک محصول داریم متغیرها شامل یک اندیس اند که نشان دهنده دوره زمانی است)

$$x_1 = Td_1 + \frac{Td_2}{(1-\beta_1)} + \frac{Td_3}{(1-\beta_1)(1-\beta_2)}$$

در این رابطه داریم:

$$\beta_1 = \alpha = 0.1$$

$$Id_1 = \beta_1 \cdot I_1 = 0.1 I_1$$

$$\beta_2 = \alpha + \lambda \cdot Id_1 \cdot (1-s_1) = 0.1 + 0.01 \times 0.1 \times I_1 \times$$

$$(1-0) = 0.1 + 0.001 I_1$$

در نتیجه داریم:

۳-۲- رویکرد حل ابداعی

با استفاده از اصل بهینگی بیان شده در بخش قبل و توضیحات مفصل داده شده می‌توان فضای جواب مسأله MLLSP-DIDC را محدود کرد با این اطمینان که جواب بهین حتما در این فضا وجود دارد. به این شکل که برای هر ماتریس مشخص S برای هر محصول $i (1 \leq i \leq m)$ ماتریس M_i را به شکل زیر تشکیل می‌دهیم:

$$M_i = \begin{pmatrix} M_{i,1,1} & M_{i,1,2} & M_{i,1,3} & \dots & M_{i,1,T} \\ 0 & M_{i,2,2} & M_{i,2,3} & \dots & M_{i,2,T} \\ 0 & 0 & M_{i,3,3} & \dots & M_{i,3,T} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & M_{i,T,T} \end{pmatrix} \quad (15)$$

که در آن $M_{i,t,k} (1 \leq i \leq m, 1 \leq t \leq T, t \leq k \leq T)$ میزان تولید از محصول i در دوره t برای برآورده کردن تقاضای دوره‌های $t, t+1, \dots, k$ را نشان می‌دهد و برابر است با:

$$M_{i,t,k} = Td_{i,t} + \sum_{\tau=t+1}^k \frac{Td_{i,\tau}}{\prod_{j=i}^{\tau-1} (1 - \beta_{i,j})} \quad (16)$$

بنابراین، برای هر ماتریس مشخص S و Y می‌توانیم میزان تولید از هر محصول در هر دوره زمانی را مطابق رابطه زیر تعیین کرد:

$$x_{i,t} = \begin{cases} M_{i,t,t'-1}, & \text{if } y_t = 1 \\ 0, & \text{if } y_t = 0 \end{cases} \quad (17)$$

که در آن $y_t = 1 (0 < t < t')$ و $y_t = 0$

از این روش ابداعی در دو الگوریتم فراابتکاری GA و SA به طور مشابه استفاده می‌کنیم. روال کار

به این ترتیب است که در هر تکرار الگوریتم‌های فراابتکاری ابتدا برای محصولات پایانی که محصول پس نیاز ندارند و تقاضای کل آنها مشخص است، با استفاده از ماتریس مشخص S (که تصادفی تولید شده یا از همسایگی جواب به دست آمده) ماتریس M را تشکیل داده و سپس با استفاده از ماتریس Y (که تصادفی تولید شده یا از همسایگی جواب به دست آمده) میزان تولید و سایر متغیرهای تصمیم برای هر دوره زمانی را محاسبه کرده و سپس به سراغ محصولات پیش‌نیاز مستقیم آنها رفته (یکی یکی) و تقاضای کل (TD) آن را محاسبه کرده و مشابه محصول اول، میزان متغیرهای تصمیم در هر دوره را محاسبه می‌کنیم. این روال را تا شامل شدن تمامی محصولات ادامه می‌دهیم.

۳-۳- طراحی پارامترهای الگوریتم GA

- هر کروموزوم متشکل از دو ماتریس S و Y است، که چگونگی نمایش آنها در بخش "نمایش جواب پیشنهادی" به تفصیل شرح داده شد.
- **ایجاد جمعیت اولیه:** جمعیت اولیه در این پژوهش به شکل تصادفی ایجاد شده و متشکل از ماتریس‌های S و Y است.
- **اندازه جمعیت:** اندازه جمعیت در این پژوهش برابر ۵۰ در نظر گرفته شد.
- **رویه انتخاب:** روش انتخاب کروموزوم‌ها برای تولید نسل جدید بر اساس روش چرخ رولت است، به طوری که کروموزوم‌های جدید بر اساس تابع برآزندگی آنها (افراد با برآزندگی بیشتر، شانس بیشتری برای انتخاب دارند) انتخاب می‌دهد.

$Nover_max =$ ماکزیمم تعداد جواب‌های پذیرفته شده در

هر دما

$Nlimit_max =$ ماکزیمم تعداد جواب‌های بد پذیرفته شده

در هر دما

۳-۵- نحوه برخورد با جواب ناموجه

جواب‌های ناموجه در مسأله MLLSP-DIDC، جواب‌هایی هستند که در آنها دو شرط زیر رعایت نشود.

(۱) در دوره زمانی اول حتماً برای تمامی

محصولات باید راه اندازی انجام شود زیرا هیچ موجودی از هیچ کدام از محصولات در دوره صفر وجود ندارد. به عبارت دیگر:

$$y_{i,1} = 1, \quad 1 \leq i \leq m \quad (18)$$

(۲) هیچ موجودی فاسدی در انتهای افق زمانی

نباید وجود داشته باشد. به بیان دیگر شرط زیر باید صادق باشد:

$$Id_{i,t} \leq M \cdot \sum_{\tau=1}^T s_{i,\tau}, \quad 1 \leq i \leq m, \quad 1 \leq t \leq T \quad (19)$$

(M یک عدد بزرگ است)

چنانچه پس از عملیات تقاطع و یا جهش جواب ناموجهی تولید گردد از استراتژی اصلاحی زیر در برخورد با جواب ناموجه استفاده می‌شود.

جواب‌های ناموجه‌ای که شرط ۱ را برآورده نمی‌کنند را می‌توان به راحتی با تبدیل کردن 0 به 1 در تمامی متغیرهای $y_{i,1}$ روی تمامی محصولات در ماتریس Y، به جواب موجه تبدیل کرد. همچنین، جواب‌های ناموجه‌ای که شرط دوم را برآورده نمی‌کنند را می‌توان به این شکل موجه کرد که، برای هر محصول (i) در دوره زمانی (k) که در آن

• **عملگر تقاطع:** در این پژوهش از عملگر تقاطعی تک نقطه‌ای برای تولید فرزندان از والدین بهره گرفته می‌شود. احتمال اجرای عملگر تقاطع نیز ۰,۹ در نظر گرفته شده است.

• **عملگر جهش:** با توجه به باینری بودن درایه‌های دو ماتریس S و Y، برای ایجاد جهش در کروموزوم‌های حاصل از عملگر تقاطع، از جهش معکوس استفاده شده است. بدین ترتیب که مقدار هر ژن در شکل جهش، معکوس می‌شود. به عبارت دیگر اگر ۰ باشد تبدیل به ۱ و اگر ۱ باشد تبدیل به ۰ می‌شود. احتمال جهش نیز برابر $1/T$ (T طول رشته کروموزوم است) در نظر گرفته شده است.

• **قاعده توقف:** قاعده توقف برای پایان دهی به الگوریتم، تعداد نسل‌های تولید شده است که در این پژوهش معادل ۱۰ نسل در نظر گرفته شده است.

۳-۴- طراحی پارامترهای الگوریتم SA

به علت فقدان نتایج نظری در زمینه طراحی پارامترهای الگوریتم SA، این پارامترهای بایستی با توجه به مسأله مورد بررسی، تنظیم گردد. در این تنظیم، کیفیت نتایج و زمان محاسباتی الگوریتم مد نظر قرار می‌گیرد. بنابراین، پارامترهای SA در این پژوهش از طریق سعی و خطا و با مقایسه با نتایج حاصل از نرم افزار LINGO تعیین شد. نتایج این سعی و خطا در جدول (۴) آمده است.

جدول ۴- پارامترهای الگوریتم SA

پارامتر	مقدار
دمای اولیه	$T_0 = 100$
دمای انجماد	$T_f = 0,01$
نرخ کاهش دما	$a = 0,95$
طول زنجیره	$Nlimit_max = 5$
مارکوف	$Nover_max = 10$

- تعداد سطوح تولید را برابر یک فرض می‌کنیم.
- تعداد محصولات تولیدی را برابر یک فرض می‌کنیم.
- با در نظر گرفتن میزان افزایش نرخ تخریب به ازای وجود هر واحد محصول فاسد برابر با صفر ($\lambda=0$)، نرخ تخریب در هر دوره زمانی را ثابت و برابر با α قرار می‌دهیم.
- هزینه‌های ثابت دفع (Fdc) و هزینه‌های دفع هر واحد محصول فاسد (Dc) در تمام دوره‌های زمانی را برابر صفر قرار می‌دهیم.

با اعمال این فرضیات بر روی مدل پیشنهادی در این پژوهش، مدل تبدیل به یک مدل مساله اندازه انباشته با موجودی تخریب شدنی با نرخ تخریب ثابت، تبدیل می‌شود. همچنین، با اعمال این فرضیات بر روی روش حل، ماتریس‌های نمایش جواب S و Y به بردارهای S و Y تبدیل می‌دهد. لازم به ذکر است که الگوریتم‌های SA و GA در نرم افزار برنامه نویسی MATLAB کد نویسی و اجرا شده است.

حال می‌توان مقایسه بهتری بین روش حل پیشنهادی خود و روش‌های ابتکاری ارائه شده توسط هوو و همکاران (۲۰۰۷) انجام داد. آزمایش‌های عددی آنها بر روی ۶ نمونه مساله انجام شد. تعداد دوره‌های زمانی در تمام آزمایش‌های برابر ۱۲ و تقاضا در هر دوره زمانی به ترتیب برابر با ۱۰، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۷۰، ۱۸۰، ۲۵۰، ۲۷۰، ۲۳۰، ۴۰، ۰ و ۱۰ در نظر گرفته شده و همچنین، هزینه نگهداری موجودی (hc)، هزینه تولید هر واحد محصول (Vc) و هزینه راه‌اندازی (Sc)، در

موجودی فاسد تولید می‌شود، دفع موجودی انجام شود. دوره زمانی k دوره‌ای است که در تمام دوره‌های زمانی بعد آن راه‌اندازی ماشین برای آن محصول انجام می‌شود. به عبارت دیگر:

$$y_{i,\tau} = 1, \quad \tau \leq T \quad (20)$$

به این ترتیب در آخرین دوره زمانی که موجودی فاسد تولید می‌شود، دفع موجودی داریم و از آنجایی که هیچ محدودیتی در میزان دفع نداریم، تمام موجودی‌های فاسد تولید شده در دوره‌های قبل نیز دفع می‌دهد.

۴- ارزیابی روش حل

به منظور ارزیابی دقت روش حل ارائه شده، در این بخش به مقایسه الگوریتم‌های SA و GA پیشنهادی با روش‌های ابتکاری ارائه شده توسط هوو و همکاران (۲۰۰۷) خواهیم پرداخت. اما همان‌طور که می‌دانیم این روش حل برای مساله ارائه شده در این پژوهش تعریف شده و مقایسه آن با روش‌های ارائه شده قبلی مقایسه مع‌الفارق است. به همین علت، ابتدا روش حل پیشنهادی خود را برای مساله ارائه شده توسط هوو و همکاران (۲۰۰۷) اصلاح می‌کنیم. آنها یک مساله اندازه انباشته تک سطحی گسسته با نرخ تخریب ثابت α را در نظر گرفتند و سه روش ابتکاری nLPC(-)، PPA(-) و LTC(-) را برای این مساله اصلاح کردند.

به منظور مقایسه روش حل پیشنهادی در این پژوهش با این روش‌ها، فرضیات ذیل را بر روی مدل و روش حل خود اعمال می‌کنیم:

جدول ۵- مقدار تابع هدف برای ارزیابی روش های nLPC، PPA(-) و LTC(-) با روش های SA و GA

مسئله	α	روش های هوو و همکاران (۲۰۰۷)			روش های پیشنهادی	
		LTC(-)	PPA(-)	nLPC	SA	GA
۱	۰	۹۴۴	۸۹۶	۸۴۴	۸۳۶	۸۳۶
۲	۰,۰۰۵	۱۰۲۱,۰۸	۸۶۱,۷۵	۸۶۱,۷۵	۸۶۱,۷۵	۸۶۱,۷۵
۳	۰,۰۱	۱۰۶۹,۷۹	۸۸۷,۸۲	۸۸۷,۸۲	۸۸۷,۸۲	۸۸۷,۸۲
۴	۰,۰۱۵	۹۳۴,۶۰	۹۱۴,۲۱	۹۱۴,۲۱	۹۱۴,۲۱	۹۱۴,۲۱
۵	۰,۰۲	۹۵۰,۴۵	۹۴۰,۹۱	۹۴۰,۹۱	۹۴۰,۹۱	۹۴۰,۹۱
۶	۰,۰۲۵	۹۶۶,۴۶	۹۶۶,۱۵	۹۶۶,۱۵	۹۶۶,۱۵	۹۶۶,۱۵
متوسط	-	۹۸۱,۶۵	۹۱۱,۱۴	۹۰۲,۴۷	۹۰۱,۱۴	۹۰۱,۱۴

عدد پررنگ نشان می دهد که روش مربوطه بهترین جواب شناخته شده را یافته است

بنابراین، امید است که روش پیشنهادی این مقاله در مسائل با ابعاد بزرگ نیز جواب های خوبی را نتیجه دهد.

۵- تولید آزمایش های تصادفی

دو دسته از آزمایش ها در این قسمت تولید می شوند. دسته اول شامل مسائل با ابعاد کوچک (۶) محصول روی افق زمانی شامل ۵ دوره زمانی) است، که برای این دسته از آزمایش های، عملکرد الگوریتم-های SA و GA پیشنهادی را با جواب دقیق به دست آمده از نرم افزار LINGO مقایسه می کنیم. دسته دوم شامل مسائل با ابعاد بزرگ است (۱۵ محصول روی افق زمانی شامل ۱۵ و ۲۰ دوره زمانی) و برای این دسته از آزمایش های از آنجایی که روش دقیق قابل حل آنها در زمان منطقی نیستند، به مقایسه دو الگوریتم SA و GA (کد شده در نرم افزار MATLAB) و تحلیل نتایج می پردازیم. در هر دو دسته مسئله، ساختار محصولی برحسب پیچیدگی

تمام دوره های زمانی ثابت و به ترتیب برابر با ۲، ۱۰۰ و ۹۲ در نظر گرفته شده است. نرخ تخریب موجودی (α) در مسائل به ترتیب برابر ۰، ۰,۰۰۵، ۰,۰۱، ۰,۰۱۵، ۰,۰۲ و ۰,۰۲۵ در نظر گرفته شده است. جدول (۵) نتایج ارزیابی را نشان می دهد.

همان طور که در جدول (۵) مشاهده می شود، در بین روش های پیشنهادی هوو و همکاران (۲۰۰۷)، روش nLPC عملکرد بهتری نسبت به سایر روش ها دارد، به طوری که در ۵ مسئله از ۶ مسئله حل شده، جواب بهین را به دست می آورد و در مسئله ای که جواب بهین را به دست نمی آورد (مسئله ۱) مقدار آن بهتر از روش PPA(-) است. اما با مقایسه روش های پیشنهادی ما با روش nLPC مشاهده می شود که روش پیشنهادی ما، هم برای SA و هم برای GA در هر ۶ مسئله جواب بهین را به دست می آورد و عملکرد بهتری نسبت به روش nLPC دارد.

الگوریتم پیشنهادی SA و GA در اندازه نمونه‌های کوچک می‌پردازیم. بدین منظور، ما ساختاری شامل ۶ محصول با ۳ سطح تولید روی افق زمانی شامل ۵ دوره زمانی را در نظر می‌گیریم. همچنین، ما شاخص پیچیدگی (C) را برای هر یک از مقادیر موجود در مجموعه‌ی {0.00, 0.25, 0.5, 0.75} مورد آزمایش قرار می‌دهیم. به منظور ساده‌سازی بدون از دست دادن کلیات مسأله، ما فرض می‌کنیم که تعداد محصولات پایانی برابر با یک (P(0)=1) بوده و همچنین، فرض می‌کنیم که در هر مورد نسبت‌های تولید یک رابطه یک به یک به بین محصولات است (f_{ij}=1). تقاضا در هر دوره زمانی برای هر محصول به شکل تصادفی و از طریق یک توزیع یکنواخت بین ۰ تا ۲۰ تولید می‌شود. هزینه‌های راه‌اندازی، نگهداری موجودی و هزینه‌های متغیر تولید را برای تمام محصولات و در تمام دوره‌های زمانی ثابت و به ترتیب برابر ۱، ۱۰ و ۱۰۰ در نظر می‌گیریم، همچنین، هزینه دفع هر واحد را برابر ۱ و هزینه ثابت هر بار دفع را برابر ۳ واحد در نظر می‌گیریم. علاوه بر این نرخ ثابت تخریب موجودی (α) برابر ۰،۱ و میزان افزایش نرخ تخریب به ازای وجود هر واحد محصول فاسد (λ) برابر ۰،۰۱ در نظر گرفته شده است. به منظور ایجاد آزمایش‌هایی با ترکیب این پارامترها، برای هر یک از شاخص‌های پیچیدگی، ۳ مرتبه تقاضای تصادفی تولید می‌شود و بنابراین، ۱۲=۳×۴ آزمایش تولید می‌شود.

۵-۲- فاز دوم: مسائل با اندازه نمونه بزرگ

فاز دوم آزمایش‌های شامل ساختار محصولی با ۱۵ محصول در ۶ سطح تولید و افق زمانی برابر با ۱۵

مشخصی تعریف می‌شود. به طوریکه ما از شاخص پیچیدگی پیشنهاد شده توسط کیمز^{۳۶} (۱۹۹۷) که به روش زیر تعریف می‌شود استفاده می‌کنیم.

$$C = \frac{A - A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}} \quad (21)$$

در این رابطه A تعداد کمان‌های موجود در ساختار محصول است، که مقدار آن برابر است با:

$$A = \sum_{i=1}^m |D(i)| \quad (22)$$

همچنین، A_{min} حداقل تعداد کمان‌های ممکن است که به ازای آن ساختار محصول متصل بماند و مقدار آن برابر است با:

$$A_{\min} = m - P(0) \quad (23)$$

برعکس، A_{max} حداکثر تعداد کمان‌هایی است که ساختار محصول می‌تواند شامل شود.

$$A_{\max} = \sum_{k=0}^{K-1} \{P(k) \cdot \sum_{j=k+1}^K P(j)\} \quad (24)$$

ساختاری که در آن تعداد کمان‌ها برابر حداقل تعداد کمان‌های ممکن باشد (A=A_{min})، یک ساختار مونتاژ بوده و مقدار شاخص C برای آن برابر صفر است. همچنین، ساختاری که در آن A=A_{max} باشد، شاخص C به ازای آن برابر یک است. بنابراین، مقدار شاخص بین صفر و یک متغیر است.

۵-۱- فاز نخست: تست در مقابل جواب دقیق (مسائل با اندازه نمونه کوچک)

حل مسأله با استفاده از روش دقیق تنها برای نمونه مسائل کوچک امکان پذیر است. به همین علت ما در فاز نخست به بررسی عملکرد هزینه‌ای دو

MATLAB و همچنین، میانگین زمان حل در این جدول گزارش شده است.

برای حل دقیق مسأله از کدنویسی در نرم افزار LINGO و حل آن با استفاده از روش شاخه و کران استفاده شده است. محدودیت زمان حل برای هر مسئله ۵ ساعت یا ۱۸۰۰۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. جواب و زمان حل به دست آمده از این روش نیز برای هر مسئله در جدول (۶) آمده است.

همان طور که مشاهده می شود روش دقیق به جز در مسائل ۲، ۳، ۶ و ۱۱ بهترین جواب را یافته است. همچنین، در مسأله ۲ و ۳ بهترین جواب متعلق به روش GA بوده و در مسائل ۶ و ۱۱ روش SA بهترین جواب را یافته است. بنابراین، نمی توان بطور قطعی اظهار کرد که کدام روش عملکرد بهتری دارد. در نمونه مسائل ایجاد شده به علت تفاوت در ابعاد مسأله و در نتیجه تفاوت در مقادیر توابع هدف، به منظور مقایسه روش های حل از معیار درصد انحراف نسبی RPD (۳۷)، که طبق رابطه ی زیر به دست می آید، برای مقایسه ی الگوریتم ها استفاده شده است.

$$RPD = \frac{ALG_{sol} - Min_{sol}}{Min_{sol}} \times 100 \quad (25)$$

که در آن، ALG_{sol} جواب حاصل از الگوریتم و Min_{sol} کمینه مقدار جواب هاست. در این نسبت، هرچه RPD کمتر باشد، کیفیت جواب و عملکرد الگوریتم بهتر است. در واقع با استفاده از معیار RPD مقادیر جدول (۶) نرمال سازی می دهد. نتایج RPD حاصل از روش های حل در جدول (۷) آورده شده است.

و ۲۰ دوره زمانی است. مجدداً ما شاخص پیچیدگی را از مجموعه ی $C = \{0.00, 0.25, 0.5, 0.75\}$ انتخاب می کنیم و همچنین، ساختار تولید را شامل یک محصول پایانی و نسبت تولید یک به یک بین محصولات در نظر می گیریم. مجدداً تقاضا در هر دوره زمانی برای هر محصول به شکل تصادفی و از طریق یک توزیع یکنواخت بین ۰ تا ۲۰ تولید می شود و هزینه های راه اندازی، نگهداری موجودی، هزینه های متغیر تولید، هزینه هر واحد دفع و هزینه ثابت هر بار دفع را به ترتیب برابر ۱۰۰۰، ۱۰۰، ۱۰ و ۱ در نظر می گیریم. علاوه بر این، نرخ ثابت تخریب موجودی (α) برابر ۰٫۱ و میزان افزایش نرخ تخریب به ازای وجود هر واحد محصول فاسد (λ) برابر ۰٫۰۱ در نظر گرفته شده است. به منظور تولید آزمایش های تصادفی، برای هر یک از شاخص های پیچیدگی و افق زمانی یک مرتبه تقاضا به شکل تصادفی تولید شده و در نتیجه $8 = 2 \times 4$ نمونه مسأله در این فاز طراحی می شود.

۳-۵- نتایج

در این بخش به بیان و تحلیل نتایج حاصل از اجرای الگوریتم های پیشنهادی بر روی مسائل طراحی شده برای هر یک از دو فاز خواهیم پرداخت.

۳-۵-۱- نتایج فاز اول

جدول (۶) خلاصه نتایج به دست آمده از مسأله ها را نشان می دهد. بهترین، میانگین و بدترین جواب حاصل از ۵ بار تکرار هر یک از الگوریتم های SA و GA پیشنهادی کد نویسی شده در نرم افزار

جدول ۶- نتایج محاسباتی فاز اول

مساله	مقدار C	الگوریتم SA				الگوریتم GA				روش دقیق	
		مجموع هزینه‌ها	میانگین	بدترین	بهترین	مجموع هزینه	میانگین	بدترین	بهترین	زمان حل	مجموع هزینه‌ها
۱	.	۹۴۳۵,۳	۹۵۱۸,۱	۹۵۷۱,۵	۴۷۳	۹۵۴۷,۵	۹۶۱۳,۳۶	۹۶۶۹,۳	۸۵۹,۴۳	۹۴۰۸,۱	۱۸۰۰۰
۲	.	۱۱۳۹۸	۱۱۴۸۷	۱۱۵۳۶	۷۹۹,۱۵	۱۱۲۸۸	۱۱۳۸۰,۲	۱۱۵۳۶	۸۳۵,۱۰	۱۱۳۱۲,۹	۱۸۰۰۰
۳	.	۱۰۸۹۹	۱۰۹۹۲,۶	۱۱۱۲۶	۶۶۲,۶۶	۱۰۸۶۲	۱۰۹۸۲	۱۱۰۸۴	۸۵۹,۱۰	۱۰۹۴۳,۷	۱۸۰۰۰
۴	۰,۲۵	۹۱۶۹,۹	۹۲۴۸,۷۸	۹۳۲۷,۹	۸۸۸,۶۲	۹۲۵۰,۹	۹۳۲۵,۸۴	۹۴۰۴,۳	۹۴۰۴,۳	۹۱۱۸,۴۶	۱۸۰۰۰
۵	۰,۲۵	۱۱۰۳۸	۱۱۱۵۴,۲	۱۱۲۹۳	۸۱۵,۹۵	۱۱۲۰۸	۱۱۲۵۰,۴	۱۱۳۰۲	۱۰۲۲,۲	۱۰۹۳۶,۹	۱۸۰۰۰
۶	۰,۲۵	۷۷۷۶,۲	۷۹۲۶,۷۲	۸۰۶۶,۵	۱۲۳۸	۷۷۸۸,۳	۷۷۷۶,۲	۸۱۴۰	۹۷۷,۰۸	۷۹۷۱,۴۵	۱۸۰۰۰
۷	۰,۵	۱۴۹۲۵	۱۵۰۸۹,۶	۱۵۱۸۲	۷۹۰,۲۷	۱۵۰۴۵	۱۵۰۸۷,۶	۱۵۱۲۹	۱۱۵۸	۱۴۷۹۸,۴	۱۸۰۰۰
۸	۰,۵	۱۳۶۹۵	۱۳۸۱۱,۶	۱۴۰۲۱	۸۲۲,۴۷	۱۳۷۲۰	۱۳۷۹۸	۱۳۹۶۰	۱۱۹۷,۸	۱۳۶۶۲,۶	۱۸۰۰۰
۹	۰,۵	۱۱۹۹۳	۱۲۰۱۹,۴	۱۲۰۸۱	۹۷۳,۲۲	۱۱۹۶۸	۱۲۰۰۱,۲	۱۲۰۶۰	۱۱۰۰,۴	۱۱۸۰۵,۵	۱۸۰۰۰
۱۰	۰,۷۵	۱۰۸۷۸	۱۱۰۰۳,۸	۱۱۱۲۴	۷۱۹,۹۸	۱۱۰۶۱	۱۱۱۱۳,۲	۱۱۱۹۰	۹۵۵,۶	۱۰۷۸۱,۷	۱۸۰۰۰
۱۱	۰,۷۵	۱۳۸۶۵	۱۳۹۰۱,۶	۱۳۹۶۳	۹۳۴,۵۲	۱۳۹۳۴	۱۳۹۷۷	۱۴۰۲۶	۱۰۷۱,۱	۱۳۸۷۲,۱	۱۸۰۰۰
۱۲	۰,۷۵	۱۷۵۳۳	۱۷۶۰۱,۶	۱۷۶۶۱	۶۹۹,۶۱	۱۷۵۶۶	۱۷۶۱۲,۴	۱۷۷۲۰	۹۷۶,۹۶	۱۷۴۳۰,۷	۱۸۰۰۰

عدد پیرنگ نشان می‌دهد که روش مربوطه بهترین جواب شناخته شده را یافته است

جدول ۷- درصد انحراف نسبی (RPD) الگوریتم‌ها برای مسائل نمونه فاز اول

مسئله	الگوریتم شبیه‌سازی تبرید			الگوریتم ژنتیک		
	بهترین	میانگین	بدترین	بهترین	میانگین	بدترین
۱	۰,۲۸	۱,۱۶	۱,۷۳	۱,۴۸	۲,۰۵	۲,۴
۲	۰,۹۷	۱,۵۴	۱,۹۷	.	۰,۵۹	۱,۹۷
۳	۰,۳۴	۰,۴۴	۱,۶۶	.	۰,۳۵	۱,۲۸
۴	۰,۵۶	۱,۴۲	۲,۲۹	۱,۴۵	۲,۲۷	۳,۱۳
۵	۰,۹۲	۱,۹۸	۳,۲۵	۲,۴۷	۲,۸۶	۳,۳۳
۶	.	.	۱,۱۹	۰,۱۵	۰,۶۲	۲,۱۱
۷	۰,۸۵	۱,۹۶	۲,۵۹	۱,۶۶	۲,۲۳	۱,۹۵
۸	۰,۲۳	۱,۰۹	۲,۶۲	۰,۴۲	۰,۹۹	۲,۱۷
۹	۱,۳۳	۱,۸۱	۲,۳۳	۱,۳۷	۱,۶۵	۲,۱۵
۱۰	۰,۸۹	۲,۰۵	۳,۱۷	۲,۵۹	۳,۰۷	۳,۷۸
۱۱	.	۰,۲۱	۰,۶۵	۰,۴۹	۰,۷۵	۱,۱۰
۱۲	۰,۵۸	۰,۹۸	۱,۳۲	۰,۷۷	۱,۴۴	۱,۶۵
میانگین	۰,۵۸	۱,۲۲	۲,۱۱	۱,۰۷	۱,۵۷	۲,۲۵

عملکرد را دارد و پس از آن روش SA دارای عملکرد بهتری از روش GA دارد. همچنین، بدترین و میانگین جواب حاصل از روش SA به ترتیب بهتر از بدترین و میانگین جواب حاصل از GA است.

RPD مقادیر جدول (۶) نرمال‌سازی می‌دهد. نتایج RPD حاصل از روش‌های حل در جدول (۷) آورده شده است. نتایج جدول (۷) نشان می‌دهد که در بین روش‌های حل، در مجموع روش دقیق بهترین

همچنین، میانگین زمان حل در این جدول گزارش شده است. همچنین، شایان ذکر است که نرم افزار LINGO روی پردازشگر ۲/۲ گیگاهرتز و سه هسته‌ای با ۲ گیگابایت رم و با سیستم عامل ویندوز ۷ به علت ابعاد بزرگ مسأله توانایی حل مسائل این دسته را ندارد.

همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود در تمام مسائل نمونه‌ای این بخش، الگوریتم SA جواب بهتری از الگوریتم GA یافته است و در نتیجه بدون نیاز به معیار RPD می‌توان گفت در نمونه مسائل با ابعاد بزرگ فاز دوم، SA عملکرد بهتری از GA داشته است.

همان‌طور که بیان شد، روش دقیق بهترین جواب را به دست می‌آورد اما این روش دو عیب اساسی دارد: اول اینکه تنها برای مسائل نمونه‌ای کوچک قابل استفاده است و دوم اینکه حتی برای مسائل نمونه‌ای کوچک هم مدت زمان جواب آن بسیار طولانی‌تر از روش‌ها فرا ابتکاری است.

۵-۳-۲- نتایج فاز دوم

جدول (۸) خلاصه نتایج به دست آمده از آزمایش‌های طراحی شده در فاز دوم بر روی ۸ مسأله نمونه را نشان می‌دهد.

بهترین، میانگین و بدترین جواب حاصل از ۵ بار تکرار هر یک از الگوریتم‌های SA و GA پیشنهادی و

جدول ۸- نتایج محاسباتی فاز دوم

مسأله	مقدار C	تعداد دوره زمانی	الگوریتم SA			الگوریتم GA		
			مجموع هزینه‌ها	میانگین	بدترین	مجموع هزینه	میانگین	بدترین
۱	۰	۱۵	۷۱۴۳۶	۷۱۵۸۲	۷۱۷۳۹	۳۹۹۱,۴۶	۷۱۷۳۲	۷۱۶۹۰
۲	۰	۲۰	۸۵۷۸۴	۸۵۹۰۸	۸۵۹۷۸	۴۵۳۸,۴۲	۸۵۸۸۴	۸۵۷۹۵
۳	۰,۲۵	۱۵	۸۸۱۲۵	۸۸۴۵۴	۸۸۷۵۷	۵۰۳۰,۸	۸۸۴۹۴,۷	۸۸۲۵۰
۴	۰,۲۵	۲۰	۹۰۱۵۰	۹۰۲۴۹	۹۰۳۸۷	۵۳۳۴	۹۰۳۵۴	۹۰۲۸۰
۵	۰,۵	۱۵	۹۱۱۴۵	۹۱۲۰۶	۹۱۲۹۷	۵۴۴۳,۴	۹۱۴۹۰	۹۱۳۷۸
۶	۰,۵	۲۰	۹۳۷۱۱	۹۳۷۶۰	۹۳۸۰۴	۵۶۵۰,۲	۹۳۸۲۸	۹۳۷۹۸
۷	۰,۷۵	۱۵	۹۶۰۰۹	۹۶۰۴۳	۹۶۰۷۴	۵۷۹۶	۹۶۰۹۲	۹۶۰۳۷
۸	۰,۷۵	۲۰	۹۸۱۶۵	۹۸۲۳۷	۹۸۳۰۰	۵۹۳۲	۹۸۳۰۵	۹۸۲۰۹

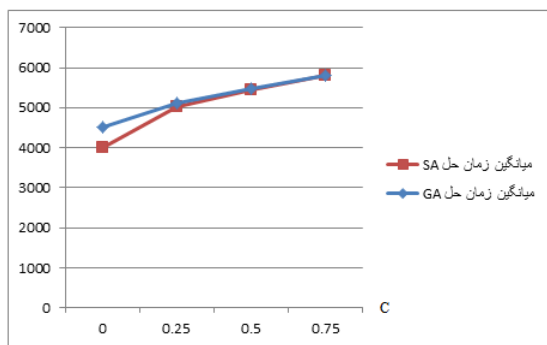
عدد پررنگ نشان می‌دهد که روش مربوطه جواب بهتری را یافته است

تحلیل تأثیر شاخص پیچیدگی (C) روی زمان حل

که دارای مقادیر مختلفی از C هستند، می‌پردازیم. در این قسمت نیز از ابزارهای گرافیکی برای تحلیل نتایج به کار می‌گیریم. شکل‌های (۳) و (۴) تأثیر اندازه C بر روی میانگین زمان حل به ترتیب برای

در این بخش قصد داریم به تحلیل تأثیر مقدار شاخص C بر روی زمان حل پردازیم. بدین منظور به مقایسه زمان حل در مسائل فاز دوم و به طور مجزا بین مسائل با افق زمانی شامل ۱۵ و ۲۰ دوره زمانی

انباشته با موجودی تخریب شدنی و هزینه‌های دفع ارائه گردید. مسأله جدید علاوه بر برنامه ریزی دوره‌های زمانی تولید، برنامه ریزی دوره‌های زمانی دفع موجودی فاسد شده را نیز شامل می‌شود. سپس به مدل سازی و حل این مسأله پرداخته شد و به منظور ارزیابی روش‌های حل با یکدیگر و نسبت به ادبیات موضوعی انجام شده، مسائل نمونه‌ای طراحی و مورد آزمایش قرار گرفت. در مسأله مورد مطالعه موجودی از نوع تخریب شدنی در نظر گرفته شد، مدل سازی و حل مسأله در حالت موجودی فاسد شدنی (دارای ماکزیمم عمر مفید)، موضوع بسیار مناسبی برای تحقیقات آتی خواهد بود. همچنین، در نظر گرفتن فرضیات متداول در حوزه مسائل اندازه انباشته مانند هزینه راه‌اندازی وابسته به توالی، در نظر گرفتن چند ماشین، محدودیت انبار و محدودیت منابع در دسترس در مسأله MLLSP-DIDC هر یک می‌توانند پژوهش‌های خوبی را برای تحقیقات آتی رقم بزنند.



شکل ۴- نمودار تأثیر اندازه C بر روی میانگین زمان حل (افق زمانی شامل ۱۵ دوره)

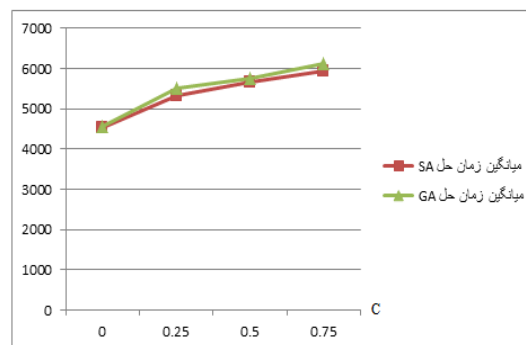
مسائل با افق زمانی شامل ۱۵ و ۲۰ دوره زمانی را نشان می‌دهند.

شکل‌های (۳) و (۴) تأثیر محسوس مقدار C بر میانگین زمان حل هر یک از دو الگوریتم SA و GA در هر دو افق زمانی را نشان می‌دهد به طوری که با افزایش مقدار شاخص پیچیدگی، میانگین زمان حل افزایش می‌یابد.

نکته‌ی دیگری که در این دو شکل می‌توان مشاهده کرد این است که در هر دو شکل (هر دو افق زمانی) میانگین زمان حل الگوریتم SA کمتر از میانگین زمان حل الگوریتم GA است. از طرف دیگر همان‌طور که در بخش قبل مشاهده شد، الگوریتم SA جواب بهتری نیز نسبت به الگوریتم GA می‌یابد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در مسائل نمونه‌ای بزرگ، الگوریتم SA کارایی و عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم GA دارد.

۶- نتیجه گیری

در این پژوهش، مسأله اندازه انباشته چند سطحی توسعه داده شده و مسأله جدیدی با مسأله اندازه



شکل ۳- نمودار تأثیر اندازه C بر روی میانگین زمان حل (افق زمانی شامل ۲۰ دوره)

منابع

- Hsu VN, (2003). "An economic lot size model for perishable products with age-dependent inventory and backorder costs", *IIE Transactions*, 35(8), 775-780
- Hsu P.H, Wee H.M, Teng H.M. (2010). "preservation technology investment for deteriorating inventory", *International Journal of Production Economics*, 124 (2), 338-394.
- Karuna, J. and Edvard, A. (1994). "Lot sizing for a product subject to obsolescence or perishability". *European Journal of Operation Research*, 75, 287-295.
- Khedhairi, A. and Taj, L. (2007). "Optimal control of a production inventory system with Weibull distributed deterioration". *Applied Mathematical Science*, 1(35), 1703-1714.
- Kimms A, (1997). "Multi-Level Lot-Sizing and Scheduling Methods for Capacitated, Dynamic, and Deterministic Models". *Physica Verlag Series on Production and Logistics*, Springer, Berlin.
- Nahmias, S. and Pierskalla, W.P. (1973). "Optimal ordering policies for product that perishes in two periods subject to stochastic demand". *Naval Research Logistics Quarterly*, 20, 207-229.
- Nahmias, S. and Wang, S. (1979). "A heuristic lot size reorder point model for decaying inventories". *Management Science*, 25, 90-97
- Pahl. j. and Voß.S. (2010). "Discrete lot-sizing and scheduling including deterioration and perishability constraints". In *Advanced Manufacturing and Sustainable Logistics, Lecture Notes in Business Information Processing*. Springer Berlin Heidelberg, 46, 345-357.
- Pahl J., VoßS., Woodruff. (2011). "Discrete lot-sizing and scheduling with sequence dependent setup times and costs including deterioration and perishability constraints". Proceedings of the 44th Hawaii. International Conference on System Sciences.
- Pochet Y, Wolsey L.A. (2006). "production planning by mixed integer programming". Belgium, Springer Science+Business Media, Inc., 233 Spring Street.
- خادمی زارع، حسن؛ فاطمی قمی، سیدمحمدتقی؛ کریمی، بهروز؛ جنابی، مسعود؛ راد، عباس. (فروردین ماه ۱۳۸۹)، "توسعه یک رویکرد حل بر مبنای آزادسازی لاگرانژ و الگوریتم ژنتیک برای مسئله تعیین اندازه انباشته چندمحصولی، چندمرحله ای و چندپریودی با در نظرگیری محدودیت منابع تولیدی". نشریه تخصصی مهندسی صنایع، (۱) ۴۴، ۳۷-۲۵.
- Baker, K.R. (1989). "Lot-sizing procedures and a standard data set: a reconciliation of the literature", *Journal of Manufacturing and Operations Management*, 2, 199-221
- Bakker M, Riezebos J, Teunter R.H. (2012). "Review of inventory systems with deterioration since 2001", *European Journal of Operational Research*, 221(2), 275-284
- Brahimi, N., Dauzere-Peres, S., Najid, M. and Nordli, A. (2006). "Single Item lot Sizing problems (Invited Review)", *European Journal of Operational Research*, 168, 1-16.
- Chu, L.Y., Hsu, Z. and Shen, M. (2005). "An Economic Lot-sizing Problem with Perishable Inventory and Economies of scale costs: Approximation Solutions and worst case analysis". *Naval Research Logistics*, 52, 536-548.
- Cochon, M.A. (1977). "Joint pricing and ordering policies for exponentially decaying inventory with known demand". *Naval Research Logistics Quarterly*, 24, 257-268.
- Ghare, P., and scharder, G. (1963). "A model for exponentially decaying inventories". *Journal of Industrail Engineering*, 14, 238-243.
- Ho J.C, Solis A.O, Chang Y.L. (2007). "An evaluation of lot-sizing heuristics for deteriorating inventory in material requirements planning systems". *Computers & operation research*, 34(9), 2562-2575 .
- Hsu VN, (2000). "Dynamic Economic Lot Size Model with perishable Inventory". *Management Science*, 46 (8), 1159-1169

- 14 -Ghare& scharder
- 15- Shah
- 16 -Cochen
- 17 -Tadikamalla
- 18 -Nahmias & Wang
- 19 -Karuna & Edvard
- 20 -Khedhairi & Taj
- 21 -Qinguo
- 22 -Hsu
- 23 -Baker
- 24 -Wee & Shum
- 25 -Least Period Cost
- 26 -Least Unit Cost
- 27 -Ho
- 28 -net Least Period Cost
- 29 -Least Total Cost
- 30- Part Period Algorithm
- 31 -Chu
- 32 -Hsu
- 33 -Pahl
- 34 -Steinberg & Napier
- 35 -Pochet & Wolsey
- 36 -Kimms
- 37 -Rational Percentage deviation (RPD)

- Qinguo, B., Qinguo, X. and Zhang, Y. (2008). "An Approximation Solution to the ELS Model for Perishable Inventory with Backlogging". the 7th International Symposium on Operation Research and Its Applications (ISORA'08), 66-73.
- Shah, Y. (1977). "An order level lot size inventory model for deteriorating items", *IIE Transactions*, 9, 190-197.
- Steinberg, E., Napier, H.A. (1980). "Optimal multilevel lot sizing for requirements planning systems". *Management Science*, 26 (12), 1258-1271.
- Tadikamalla, P.R. (1978). "An EOQ model for items with Gamma distributed deterioration". *AIIE Transaction*, 10, 100-103.
- Vahdani, M., Dolati, A., Bashiri, M. (2013). "Single-Item Lot-Sizing and Scheduling Problem with Deteriorating Inventory and Multiple Warehouses". *Scientia Iranica E*, 20(6), 2177-2187.
- Wagner, H.M. and Whithin, T.M. (1958). "Dynamic Version of the Economic Lot Size Model". *Management Science*, 5(1), 89-96.
- Wee H-M, Shum Y-S. (1999). "Model development for deteriorating inventory in material requirement planning systems". *Computer and Industrial Engineering*, 36(1), 219-225.

پی نوشت

- ¹- Multi-Level Lot Sizing Problem (MLLSP)
- 2- Disposal costs
- 3 -Deterioration Inventory
- 4 -Genetic Algorithm(GA)
- 5 -Simulated Annealing (SA) Algorithm
- 6 -Material Resource Planning (MRP)
- 7 -Material Resource Planning II (MRP II)
- 8 -Enterprise Resource Planning (ERP)
- 9 -Single Item Lot-Sizing and Scheduling Problem (SILSP)
- 10 -Multi-Level Lot Sizing Problem with Deterioration Inventory and Disposal Costs (MLLSP-DIDC)
- 11 -Veinott
- 12 -Van Zyl
- 13 -Nahmias & Pierskalla

