مقاله پژوهشی

ارائه یک مدل چند هدفه کنترل موجودی چند محصولی چند دوره‌ای با در نظر گرفتن تورم و تخفیف کلی با تقاضای احتمالی

معصومه محمدبیگی[1]، رامین صادقیان[2]*

دانشگاه پیام نور

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۲۸

چکیده

این تحقیق، یک مدل برنامه‌ریزی برای کنترل موجودی چند محصولی چند دوره‌ای است، با هزینه‌های مربوط به موجودی (هزینه نگهداری، سفارش‌دهی، هزینه کمبود، هزینه خرید) که تحت تورم و سیاست تخفیف کلی با تقاضای احتمالی ارائه می‌شود که دارای کمبودهایی می‌باشد (فروش ازدست‌رفته و اعتبار ازدست‌رفته) که در آن‌ها دوره‌های برنامه‌ریزی محدود و شناخته‌شده می‌باشد. در این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی سه هدفه شامل کمینه‌سازی کل هزینه‌های موجودی و کل فضای ذخیره‌سازی و بیشینه‌سازی سطح اطمینان از موجودی به‌طور همزمان معرفی می‌شود. سپس به‌منظور حل مدل، ابتدا از روش حل دقیق لینگو در ابعاد کوچک استفاده می‌شود و سپس از یک الگوریتم فراآبتکاری الگوریتم ژنتیک چندهدفه مرتب‌سازی نامغلوب پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کنترل موجودی چند محصولی، چند دوره‌ای، تورم، تخفیف، کمبود، تقاضای احتمالی

۱- مقدمه

از مسئولیت‌های مهم و اساسی در واحدهای صنعتی، برنامه‌ریزی و کنترل موجودی‌ها است. فعالیت‌های متمرکزشده با عنوان کنترل موجودی‌ها همواره موردتوجه خاص مدیریت، بخش کنترل مواد و سفارشات و مهندسی صنایع است[۱].

از اهداف اصلی برنامه‌ریزی و کنترل موجودی تعیین مقدار مناسب و اقتصادی برای هر بار سفارش کالا می-باشد که به ازای آن جمع هزینه‌های موجودی‌ها در یک دوره مشخص زمانی در حداقل ممکن باشد. مسئله موجودی نوعی فرموله کردن قوانین تصمیم‌گیری است که دستیابی به مقادیر دو پارامتر اصلی لازم می‌شود. این دو پارامتر عبارتند از:

*مقدار هر بار سفارش

*تاریخ مناسب صدور سفارش

سیستمهای مختلف سفارشات و کنترل موجودی باید در ساختاری متناسب با شرایط هر واحد صنعتی به‌منظور پاسخ گوئی به دو سؤال بالا طراحی شوند.

ما در این تحقیق سعی می‌کنیم به بررسی محدودیت‌ها و موانع مهمی که در این حیطه وجود دارد، بپردازیم که رفع آن‌ها کمک بزرگی به حل مسئله کنترل موجودی می‌کند؛ و برای برطرف نمودن این موانع روش‌ها و مدل‌هایی را ارائه می‌دهیم؛ و سعی در بهبود و بهینگی مسئله موجودی خواهیم نمود.

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، پست الکترونیک: m_mohamadbeygi@yahoo.com صندوق پستی: ۱۹۳۹۵-۳۶۹۷، ایران، تهران

*۲- دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، نویسنده مسئول، پست الکترونیک: ramin_sadeghian@yahoo.com صندوق پستی: ۱۹۳۹۵-۳۶۹۷، ایران، تهران

جیتا کیم[1] و همکاران در ارتباط با یک کنترل موجودی چند دوره‌ای با مدل‌های موجود پسر روزنامه‌فروش و *EOQ* با تقاضای غیر ایستایی با برنامه‌ریزی احتمالی چندحالته پژوهشی انجام داده‌اند؛ که با ارائه یک مثال عددی مورد تجزیه‌وتحلیل حساسیت قرارگرفته است؛ و برنامه‌نویسی تصادفی چندحالته با کمک عدد صحیح فرموله شده است[۲]. دن وانگ[2] و همکاران بر روی یک مدل موجودی چند محصولی تک دوره‌ای که مشکل تقاضای تصادفی و عدم قطعیت به‌طور همزمان ظاهر می‌شود. باقابلیت دسترس بودن اطلاعات تقاضا، مطالعه‌ای انجام داده‌اند که هدف تجزیه‌وتحلیل نظری برای رسیدن به بهینگی می‌باشد؛ که مثال عددی و سیاست پسر روزنامه‌فروش در این زمینه برای روشن شدن مشکل آورده شده است[۳]. سوتریسنو، پورناوان آدی ویکاکسونو[3] استراتژی بهینه‌ای را بر روی یک کنترل موجودی چند محصولی بر روی یک تابع تک هدفه اعمال نموده‌اند؛ که کل هزینه را به حداقل می‌رساند. در این مدل سطح انبار پویا در نظر گرفته‌شده است؛ و برای مدل کنترل پیش‌بینی، از شبیه‌سازی عددی استفاده‌شده است[۴]. رضایت مشتری به‌تازگی یکی از مهم‌ترین مسائل برای شرکت‌ها، به‌عنوان یک نتیجه جهانی تبدیل‌شده است؛ که باعث افزایش رقابت و کاهش حاشیه سود است. اساسی‌ترین شرایط مرتبط با رضایت مشتری در دسترس بودن محصولات بنا به درخواست می‌باشد. برای این منظور، برای برآوردن این شرایط برای شرکت‌ها، مدیریت موجودی بسیار عالی ضروری است[۵]. ک. تقی زاده یک مدلی بر روی یک کنترل موجودی چند محصولی با چند دوره ارائه داده‌اند. که تابع سه هدفه می‌باشد. که مدل ارائه‌شده تلاش به‌طور همزمان برای به حداقل رساندن هزینه‌های کل تولید و میزان نرخ تغییرات در سطح کار و به حداکثر رساندن سطح مطلوبیت می‌باشد که برنامه‌ریزی به‌صورت آرمانی فازی و مسیرهای تولید، منحصر بفرد می‌باشد[۶]. سید محسن موسوی و همکاران مدلی برای کنترل موجودی چند محصولی و چند دوره‌ای فصلی ارائه کرده‌اند.

با هزینه‌های موجودی (سفارش، نگهداری، کمبودخرید) تحت تورم و تخفیف که تلاش همزمان برای به حداقل رساندن هزینه‌های موجودی و به حداقل رساندن کل فضای انبارش انجام‌شده است؛ که از سه الگوریتم فرا ابتکاری (NSGAII)، (NSGA)و (MOPSO)استفاده شده است. و برای عملکرد بهتر از رویکرد تاگوچی استفاده‌شده است[۷]. قاسم مصلحی و همکاران نرخ تورم و ارزش پول در مدل اندازه دسته تولید با در نظر گرفتن دوباره‌کاری برای حالت تک‌محصولی را بررسی کرده‌اند؛ و از الگوریتم مبتنی بر ترکیب دو روش جستجوی شتابدار و دیکوتوماس به‌منظور حل مدل استفاده‌شده است؛ و اثربخشی مدل را با استفاده از یک مثال عددی نشان داده‌اند[۸]. دبیلیو. جی. گوئررو[4] و همکاران مدلی بر روی کنترل موجودی چند محصولی با محدودیت انبارش و سفارش ارائه داده‌اند؛ که توزیع به‌صورت یک انبار به چند خرده‌فروش می‌باشد. تقاضا به‌صورت احتمالی و سیستم به‌صورت زنجیره مارکوف باهدف به حداقل رساندن ارزش انبارش در دست می‌باشد.که مطالعه به‌صورت واقعی صورت پذیرفته و برای حل مدل از الگوریتم ابتکاری بهره گرفته‌شده است[۹]. عطاالله طالعی‌زاده و همکاران مسئله یک کنترل موجودی چند محصولی را با فضا و بودجه محدود در نظر گرفته‌اند؛ که سطح خدمات نیز محدود می‌باشد. هزینه‌های نگهداری و کمبود و خرید نیز در این پژوهش در نظر گرفته‌شده است؛ و زمان پریودها تصادفی و پس‌افت، جزئی فرض شده است. برای حل مسئله از برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح MINLP استفاده‌شده است و برای نتایج بهتر از الگوریتم جستجوی هارمونی و HSA و الگوریتم ژنتیک GAو بهینه‌سازی ازدحام ذرات PSO بهره گرفته‌شده است[۱۰]. ماریا إلبک، سانا وولک[5] در سال ۲۰۱۶ یک رویکرد برنامه‌ریزی برای موجودی چند دوره از مواد قابل بازیافت در نظر گرفته‌اند؛ که هدف به حداقل رساندن هزینه و به حداکثر رساندن سطح خدمات می‌باشد که از الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی همسایگی VNS استفاده‌شده است. هزینه عملیات حمل‌ونقل و بازیافت نیز در این مدل اعمال‌شده است[۱۱]. اخیراً میرزاده و همکاران در سال ۲۰۱۱ یک مدل کنترل موجودی را با تورم تصادفی برای موارد چندگانه و بودجه ثابت معرفی کرده‌اند[۱۲]. سانا[6] در سال ۲۰۱۱ مدل موجودی احتمالی ارائه داد که در آن تقاضا وابسته به متغیر تصادفی قیمت در نظر گرفته‌شده است[۱۳]. آر. چاکرابارتی و همکاران[7] در سال ۲۰۱۷ تولید موجودی یک محصول واحد

1- Gitae Kim & et al
2- Dan Wang & et al
3- Sutrisno, Purnawan Adi Wicaksono
4- W.J. Guerrero & et al
5- Maria Elbek, Sanne Wøhlk
6- sana
7- R. Chakrabarty & et al

با فرآیند ناقص را توسعه می‌دهد که در آن تورم و ارزش زمانی پول تحت کمبود قرار می‌گیرد[۱۴]. سید محسن موسوی و همکاران در سال ۲۰۱۴ یک مسئله کنترل موجودی را با بودجه محدود در نظر گرفته‌اند؛ که کمبود و فروش ازدست‌رفته مجاز بوده و برای برخی از واحدها تخفیف کمیت افزایشی در نظر گرفته‌شده است که با دو هدف به حداقل رساندن هزینه کل موجودی و فضای ذخیره سازی که مدل براساس FMCPM فرموله شده واز الگوریتم MOPSOو الگوریتم ژنتیکی چند هدفه(MOGA) استفاده کرده-اند[۱۵]. سید محسن موسوی و همکاران در سال ۲۰۱۳ یک مساله کنترل موجودی چند محصولی چند دوره‌ای فصلی در نظرگرفته‌اند؛ که هزینه‌های موجودی تحت تورم وسیاست تخفیف واحدی که محصولات در جعبه‌هایی با تعداد مشخص درنظر گرفته شده است؛ و کل فضای ذخیره‌سازی و کل بودجه محدود می‌باشد. هدف یافتن تعداد بهینه محصولات در دوره‌های مختلف، با حداقل رساندن کل هزینه‌های موجودی (سفارش، نگهداری، کمبود، هزینه خرید) می‌باشد. پارامترها با رویکرد تاگوچی تنظیم شده است و از الگوریتم PSO استفاده نموده‌اند[۱۶]. ن. عالی‌کار و همکاران در سال ۲۰۱۶ یک مدل غیرخطی مختلط عدد صحیح ارائه داده‌اند. که فضای ذخیره‌سازی و ظرفیت وسیله نقلیه محدود می‌باشد. برای راه‌حل های غیر استفاده که بصورت تصادفی تولید می-شود جریمه اعمال می‌شود. هدف کلی یافتن تعداد بهینه قطعات خریداری شده با به حداقل رساندن هزینه موجودی (نگهداری، سفارش، خرید) و به حداکثر رساندن قابلیت اطمینان سیستم به طور همزمان می‌باشد که با سه الگوریتم NSGA-II، MOPSOو MOHSحل نموده‌اند[۱۷]. سید محسن موسوی و همکاران در سال ۲۰۱۳ یک مدل کنترل موجودی ارائه داده‌اند که عوامل تورم و نرخ تورم با تخفیفات کمی و کلی در نظر گرفته شده است و نرخ تقاضا قطعی بوده ولی ممکن است در دوره های مختلف متفاوت باشد. این مدل کنترل موجودی فصلی (سفارش و فروش در یک فصل) می‌باشد؛ که فضا وبودجه و مقدار سفارش محدود می باشد. هدف به حداقل رساندن ارزش فعلی خالص هزینه کل سیستم در یک افق برنامه‌ریزی می‌باشد؛ و مدل NP-HARD بوده که یک الگوریتم ژنتیک GA ارائه شده و برای ارزیابی عملکرد از الگوریتم (SA) استفاده شده است؛ و از تاگوچی برای تنظیم پارامترها استفاده نموده‌اند[۱۸]. با توجه به تحقیقاتی که اخیرا انجام شده بیشترین بررسی مسئله موجودی بر روی توابع تک هدفه هزینه و یا دو هدفه هزینه و سود بوده است. متداولترین روش فراابتکاری که برای حل مدل‌ها ارائه شده است، الگوریتم فراابتکاری ژنتیک و یا الگوریتم ازدحام ذرات و در بعضی موارد ترکیبی از هر دو بکار رفته است؛ اما از آنجا که عوامل دیگری مانند سطح خدمات و یا رضایت مشتری و سطح اطمینان از موجودی و کل فضای انبارش بسیار مهم هستند؛ و چه بسا بهبود و بهینگی در این عوامل باعث رشدو سودآوری و میزان پیشرفت در یک شرکت می‌شود. به همین دلیل ما در این تحقیق تابع هدف موجود را سه هدفه بصورت هزینه موجودی و کل فضای انبارش وسطح خدمات بصورت رضایت مشتری و سطح اطمینان از موجودی در نظر می‌گیریم؛ و برای حل مدل و بهینگی از یک روش فراابتکاری و یک نرم افزار لینگو بصورت دقیق برای نمونه های کوچک و بطور همزمان استفاده می‌کنیم و مدل را به صورت چند محصولی و چند دوره‌ای در نظر می‌گیریم. هزینه‌هایی که در مسئله موجودی مهم بوده و بر آن تاثیر می‌گذارد همچون هزینه سفارش و نگهداری و کمبود و خرید را نیز اعمال می‌نماییم. تورم و تخفیف کلی که دو فاکتور مهم و اثرگذار بر این مسئله هستند، نیز مد نظر می‌باشند. همچنین یک مثال عددی برای روشن شدن مطالب در این تحقیق ارائه می‌دهیم.

در ادامه، در قسمت (۲) مدل‌سازی مقاله ارائه‌شده در قسمت (۳) به توضیح روش حل می‌پردازیم؛ و مقادیر عددی به‌دست‌آمده از نرم‌افزار لینگو و الگوریتم فرا ابتکاری حاصل از حل مدل صورت می‌گیرد و در قسمت (۴) نتیجه حاصل از یافته‌ها ارائه می‌گردد.

۲-مدل‌سازی

۲-۱مفروضات:

۱. میزان تقاضا برای همه محصولات مستقل از یکدیگر است و در یک دوره ثابت است.

۲. در هریک از دوره‌ها حداکثر یک سفارش را می‌توان برای یک محصول جایگزین کرد.

۳. میزان فضای ذخیره‌ی کلی محدود است.

۴. سطح موجودی اولیه همه محصولات صفر است.

۵. بودجه کلی در دسترس برای خرید محصول محدود است.

۶. میزان سفارش هریک از محصولات در هریک از دوره‌ها حداقل برابر با میزان کمبود همان محصول در دوره‌ی قبلی است.

۷. افق برنامه‌ریزی محدود و شناخته‌شده است. در افق برنامه-ریزی دوره‌های Nبا طول یکسان و برابر مشخص‌شده‌اند.

۸. باز پرسازی‌ها آنی هستند.

۹. ذخیره احتیاطی صفر می‌باشد ($ss=0$)

۱۰. فاصله زمانی تحویل صفر می‌باشد ($l=0$)

۱۱. هزینه نگهداری یک مورد مستقل از فضای ذخیره‌سازی موردنیاز آن است.

۲-۲ -اندیس‌ها

$i:1,\dots m$: اندیس محصولات

$j:1,\dots,N$: اندیسی برای چرخه بازپرسازی (دوره)

$k:1,\dots K$: شاخصی برای میزان تخفیف کلی (تعداد تخفیفات کلی برای محصول i)

۲-۳-پارامترها

N: تعداد چرخه‌های باز پرسازی در افق برنامه‌ریزی

m: تعداد محصولات

k: تعداد تخفیفات (نقاط شکست قیمت‌ها)

C: بودجه کلی در دسترس

S: فضای ذخیره‌سازی کل

$p_{i,k}$: قیمت محصول iبا تخفیف از بخش k

$q_{i,k}$: k امین نقطه نزول قیمت برای iامین محصول ($q_{i,1}=0$)

h_i: هزینه نگهداری موجودی از محصولات iام برای هریک از واحدها در واحد زمانی

f: میزان تورم

S_i: فضای لازم برای ذخیره‌سازی واحد محصول iام

$A_{i,j}$: هزینه سفارش دهی محصول iام در دوره‌ی j ام

$T_{i,j}$: زمان کلی موردنیاز به‌علاوه چرخه بازپرسازی (دوره) j ام از محصول iام

$T'_{i,j}$: زمان در دوره j که در آن محصول iام به صفر می‌رسد.

β_i: درصد تقاضای ناموفق محصول iام که سفارش عقب‌افتاده شده است.

$I_{i,j}(t)$: وضعیت موجودی محصول iام در زمان tدر دوره j

$\pi^B_{i,j}$: هزینه‌های برگشتی (فروش ازدست‌رفته) برای هر واحد از محصول iام

$\pi^L_{i,j}$: هزینه‌های اعتبار ازدست‌رفته در هریک از واحدهای محصول iام

$D_{i,j}$: تقاضای محصول iام در دوره j

$Bigm$: یک عدد خیلی بزرگ (برای برقراری تعادل در محدودیت‌ها)

۲-۴- متغیرهای تصمیم

$Q_{i,j}$: میزان سفارش دهی محصول iام در دوره j

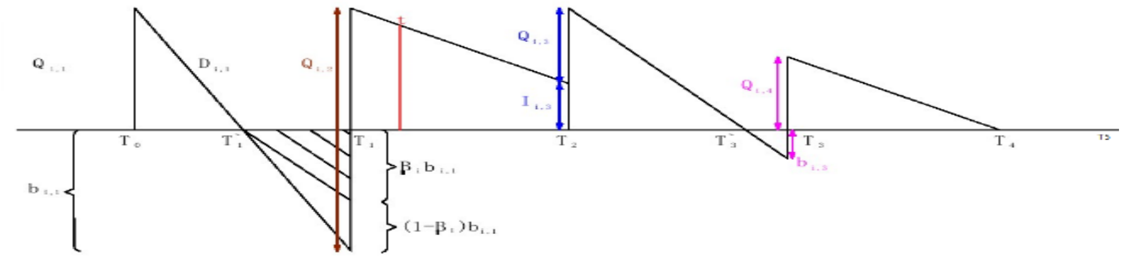
$W_{i,j}$: یک متغیر دوگانه که در صورت خرید محصول iام در دوره j برابر با ۱ خواهد بود و در غیر این صورت میزان آن صفر می‌شود.

$V_{i,j,k}$: یک متغیر دوگانه، اگر محصول iدر دوره j از بخش kتخفیف کلی خریداری شود ۱ و در غیر این صورت ۰ است.

$I_{i,j-1}$: موجودی باقی‌مانده از دوره‌های قبل محصول iام در دوره j

$b_{i,j}$: میزان کمبود برای محصول iام در دوره j (واحد)، برای دوره اول ($b_{i,1}=0$)

$L_{i,j}$: یک متغیر دوگانه که در صورت وقوع کمبود در دوره j برابر با ۱ و در غیر این‌صورت میزان آن صفر می‌شود



شکل(۱) نمایش گرافیکی برای یک مسئله موجودی در پنج دوره

بر اساس شکل (۱)، برنامه‌ریزی موجودی در دوره T_0 شروع می‌شود و در دوره T_5 به پایان می‌رسد که در این صورت کمبود در برخی از دوره‌های میانی مشاهده می‌شود، علاوه بر این یک سفارشی که برابر با میزان کمبودها است نیز در این دوره قرار می‌گیرد. در شروع دوره‌ی $T_{i,1}$ که یک دوره‌ی کمی از $Q_{i,1}$ از محصول i است به‌دست می‌آید. از آن‌جایی که این مقدار برای راضی کردن میزان تقاضا شده‌ی $D_{i,1}$ کافی نیست یک شکست تقاضایی در $b_{i,1}$ رخ می‌دهد. پس از به‌دست آوردن میزان سفارشات، $Q_{i,2}$ در دوره‌ی بعدی، میزان کمبود $b_{i,1}$ در ابتدا پر می‌شود و بقیه‌ی موارد به دوره‌ی بعدی منتقل می‌شوند تا $D_{i,2}$ را راضی کنند. فهرست اموال I_{i2} دوره‌های قبلی به‌علاوه‌ی سایر کمیت‌های $Q_{i,3}$ ای راضی کردن میزان تقاضای $D_{i,3}$ دوره‌ی سوم مورداستفاده قرار می‌گیرند. درصورتی که شکست $b_{i,3}$ همان کمبود رخ می‌دهد. وقتی‌که کمیت سفارش‌دهی $Q_{i,4}$ به‌دست‌آمده می‌آید،می میزان $b_{i,3}$ در ابتدا پر می‌شود و مقادیر باقی‌مانده برای تقاضای $D_{i,4}$ در نظر گرفته می‌شوند. در دوره‌ی نهایی هیچ تقاضایی باقی نمی‌ماند و از همین رو تقاضای $Q_{i,5}$ کمبود $b_{i,5}$ را دفع می‌کند چراکه کمبود گفته‌شده در این دوره رخ می‌دهد. هزینه کل موجودی شامل سفارش، نگهداری، کمبود و هزینه‌های خرید که به شرح زیر مدل‌سازی می‌شود. ازآنجایی‌که حداکثر یک سفارش می‌تواند برای یک محصول در یک دوره قرار داده شود، به‌منظور مدل هزینه سفارش، یک متغیر باینری $W_{i,j}$ استفاده می‌شود درصورتی‌که خرید یک واحد از محصول i در دوره j انجام شود برابر با ۱ است ، در غیر این صورت ۰ می‌شود.

۵-۲- مدل‌سازی توابع هدف

$Z_1 = A + H + BO + LS + P$	(۱)
$A = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N} A_{i,j} W_{i,j} e^{-fT_{i,j}}$	(۲)
$H = h_i \int_{T_{j-1}}^{T_j(1-L_{i,j})+T_j^{'}L_{i,j}} I_i(t) e^{-ft} dt$	(۳)
$BO = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1} \pi_{i,j}^{B} e^{-fT_{i,j}} \beta_i \int_{T_{i,j}^{'}}^{T_{i,j}} I_{i,j}(t) e^{-ft} dt$	(۴)
$LS = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1} \pi_{i,j}^{L} e^{-fT_{i,j}} (1-\beta_i) \int_{T_{i,j}^{'}}^{T_{i,j}} I_{i,j}(t) e^{-ft} dt$	(۵)
$P = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1}\sum_{k=1}^{k_i} Q_{i,j} P_{i,k} V_{i,j,k} e^{-fT_{i,j}}$	(۶)

$$
\begin{aligned}
MinZ_1 = & \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1} A_{i,j} W_{i,j} e^{-fT_{i,j}} + \\
& \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1} h_i e^{-fT_{i,j}} \int_{T_{i,j}}^{T_{i,j}(1-L_{i,j})+T_{i,j}^{'}L_{i,j}} I_{i,j}(t) e^{-ft} dt + \\
& \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1} \pi_{i,j}^{B} e^{-fT_{i,j}} \beta_i \int_{T_{i,j}^{'}}^{T_{i,j}} I_{i,j}(t) e^{-ft} dt + \\
& \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1} \pi_{i,j}^{L} e^{-ft} (1-\beta_i) \int_{T_{i,j}^{'}}^{T_{i,j}} I_{i,j}(t) e^{ft} dt + \\
& \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1}\sum_{k=1}^{k_i} Q_{i,j} P_{i,k} V_{i,j,k} e^{-fT_{i,j}}
\end{aligned}
\qquad (۷)
$$

$$MinZ_1=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N}A_{i,j}W_{i,j}e^{-fT_{i,j}}\quad +$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1}h_i\left\{\left(\frac{e^{-fa}-e^{-fT_{i,j-1}}}{f}\right)\left(\frac{a_{ij}+b_{ij}}{2}\right)\left(\frac{e^{-fa}\left(a+\frac{1}{f}\right)-e^{-fT_{i,j-1}}\left(T_{i,j-1}+\frac{1}{f}\right)}{e^{-fa}-e^{-fT_{0,j-1}}}-\left(\frac{I_{i,j-1}(t)+Q_{i,j}}{\left(\frac{a_{ij}+b_{ij}}{2}\right)}\right)-T_{i,j-1}\right)\right\}+$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1}\pi_{i,j}^{B}\beta_i e^{-fT_{i,j}}\left\{\left(\begin{array}{l}\frac{a_{ij}+b_{ij}}{2\mathrm{f}}\left(\ e^{-f(T_{i,j})}\left(\frac{(1-fT_{i,j})}{f}-\left(T_{i,j}-\frac{2b_{i,j+1}}{a_{ij}+b_{ij}}\right)\right)\ \right)-\\ e^{-f\left(T_{i,j}-\frac{2b_{i,j+1}}{a_{ij}+b_{ij}}\right)}\left(\frac{1-f\left(T_{i,j}-\frac{2b_{i,\mathrm{j}+1}}{a_{ij}+b_{ij}}\right)}{f}-\left(T_{i,j}-\frac{2b_{i,j+1}}{a_{ij}+b_{ij}}\right)\right)\end{array}\right)\right\}+$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1}\pi_{i,j}^{L}(1-\beta_i)e^{-fT_{i,j}}\left\{\begin{array}{l}\frac{a_{ij}+b_{ij}}{2f}\left(e^{-f(T_{i,j})}\left(\frac{(1-fT_{i,j})}{f}-\left(T_{i,j}-\frac{2b_{i,j+1}}{a_{ij}+b_{ij}}\right)\right)\right)-\\ e^{-f\left(T_{i,j}-\frac{2b_{i,j+1}}{a_{ij}+b_{ij}}\right)}\left(\frac{1-f\left(T_{i,j}-\frac{2b_{i,j+1}}{a_{ij}+b_{ij}}\right)}{f}-\left(T_{i,j}-\frac{2b_{i,j+1}}{a_{ij}+b_{ij}}\right)\right)\end{array}\right\}+$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1}\sum_{k=1}^{k_i}Q_{i,j}P_{i,k}V_{i,j,k}e^{-fT_{i,j}}$$

$$MinZ_2=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1}\left(Q_{ij}+I_{i,j+1}\right)S_i \qquad (۹)$$

$$MaxZ_3=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1}\left(\frac{Q_{ij}-a_{ij}}{b_{ij}-a_{ij}}\right) \qquad (۱۰)$$

۲-۶-محدودیت‌ها

$$I_{i,j+1} - b_{i,j+1} = I_{i,j} + Q_{i,j} - D_{i,j}\left(T'_{i,j}L_{i,j} + T_{i,j-1}\right) \quad \forall i,j \qquad (۱۱)$$

$$b_{i,j} \le Bigm \times L_{i,j} \quad \forall i,j \qquad (۱۲)$$

$$L_{i,j} \le b_{i,j} \quad \forall i,j \qquad (۱۳)$$

$$\begin{cases} Q_{i,j} \ge a_{ij} \\ Q_{i,j} \le b_{i,j} \end{cases} \quad \forall i,j \qquad (۱۴)$$

$$P = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1}\sum_{k=1}^{k_i} Q_{i,j}P_{i,k}V_{i,j,k}e^{-fT_{i,j}} \le C \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{i=1}^{m}\left(Q_{ij} + I_{i,j}\right)S_i \le S \quad \forall j \qquad (۱۶)$$

$$q_{ik-1} - Bigm(1-V_{i,j,k}) \le Q_{i,j} \le q_{ik} + Bigm(1-V_{i,j,k}) \quad \forall i,j,k \qquad (۱۷)$$

$$\sum_{k=1}^{k_i} V_{i,j,k} \le 1 \quad \forall i,j \qquad (۱۸)$$

$$Q_{i,j} \le Bigm.W_{i,j} \quad \forall i,j \qquad (۱۹)$$

۲-۷- شرح مدل

اولین تابع هدف، به حداقل رساندن هزینه‌های موجودی می‌باشد، که به‌صورت $Z_1 = A + H + BO + LS + P$ معادله (۷) فرموله می‌شود. تابع هدف دوم می‌تواند به‌عنوان کمینه‌سازی کل فضای نگهداری موردنیاز (Z_2) صورت گیرد. از آنجائی که در یک دوره معین j، مقدار اقلام i به همراه موجودی دوره‌ی قبلی، نیاز به فضای ذخیره‌سازی می‌باشد، درنهایت $Q_{i,j} + I_{i,j-1}$ از واحدها، هرکدام که نیاز به فضای ذخیره‌سازی S_i دارند، بنابراین، دومین تابع هدف به‌صورت معادله (۹) به دست می‌آید. همچنین برای تابع هدف سوم که اطمینان از سطح موجودی است و هدف حداکثر کردن آن می‌باشد و چون مصرف (تقاضا) از توزیع یکنواخت تبعیت می‌کند به‌صورت معادله (۱۰) تعریف می‌شود. هزینه سفارش کلی زمانی که تورم در حال حاضر وجود ندارد به‌صورت مقابل به دست می‌آید: $\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N} A_{i,j}W_{i,j}$

درصورت تورم موجود با مقدار f، کل هزینه سفارش (A) تحت سیاست ترکیبی پیوسته تبدیل به معادله (۲۰) می‌شود.

$$A = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N} A_{i,j}W_{i,j}e^{-fT_{i,j}} \qquad (۲۰)$$

هزینه برگزاری یک محصول در یک دوره برابر با مساحت یک قطعه در بالای خط افقی شکل است؛ بنابراین برای $T_{i,j-1} < t < T_{i.j}\left(1-L_{i.j}\right) + T'_{i.j}L_{i,j}$، هزینه نگهداری تحت تورم (H) برابر است با

$$H = h_i \int_{T_{j-1}}^{T_j\left(1-L_{i,j}\right)+T'_jL_{i,j}} I_i(t)e^{-ft}dt \qquad (۲۱)$$

ازآنجاکه موقعیت موجودی محصول iام در زمان t در دوره j، برای $T_{i,j-1} < t < T_{i,j}(1-L_{i,j}) + T'_{i,j}L_{i,j}$ برابر است با $I_{i,j}(t) = I_{i,j-1}(t) + Q_{i,j} - D_{i,j}\left(t - T_{i,j-1}\right)$ و در زمان $T_{i,j} - T'_{i,j} = b_{i,j}/D_{i,j}$ در دوره j موجودی صفر خواهد شد؛ که یک کمبود رخ می‌دهد و با جایگذاری $T_{i,j}\left(1-L_{i,j}\right) + T'_{i,j}L_{i,j} = a$ معادله (۲۱) به معادله زیر تبدیل می‌شود. (ضمیمه (۱) ملاحظه شود)

$$H = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1} h_i \left\{ \left(\frac{e^{-fa} - e^{-fT_{i,j-1}}}{f}\right) D_{i,j} \left(\frac{e^{-fa}\left(a + \frac{1}{f}\right) - e^{-fT_{i,j-1}}\left(T_{i,j-1} + \frac{1}{f}\right)}{e^{-fa} - e^{-fT_{i,j-1}}} - \left(\frac{I_{i,j-1}(t) + Q_{i,j}}{D_{i,j}}\right) - T_{i,j-1} \right) \right\} \qquad (۲۲)$$

چون تقاضا احتمالی و به‌صورت توزیع یکنواخت در نظر گرفته‌شده است، بنابراین داریم: $D_{i,j}=\frac{1}{b_{ij}-a_{ij}}$ برای همین منظور در رابطه‌ها امید ریاضی توزیع یکنواخت را بجای تقاضا قرار می‌دهیم.

$$E\left(D_{i,j}\right)=\frac{a_{ij}+b_{ij}}{2} \qquad (۲۳)$$

$$H=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1}h_i\left\{\left(\frac{e^{-fa}-e^{-fT_{i,j-1}}}{f}\right)\left(\frac{a_{ij}+b_{ij}}{2}\right)\left(\frac{e^{-fa}\left(a+\frac{1}{f}\right)-e^{-fT_{i,j-1}}\left(T_{i,j-1}+\frac{1}{f}\right)}{e^{-fa}-e^{-fT_{i,j-1}}}-\left(\frac{I_{i,j-1}(t)+Q_{i,j}}{\left(\frac{a_{ij}+b_{ij}}{2}\right)}\right)-T_{i,j-1}\right)\right\} \qquad (۲۴)$$

هزینه کمبود از دو قسمت تشکیل می‌شود: ۱. فروش ازدست‌رفته ۲. از دست دادن اعتبار، ازآنجایی‌که β درصد تقاضای ناموفق محصول i سفارش عقب‌افتاده (فروش ازدست‌رفته) است و $(1-\beta)$ درصد از دست دادن اعتبار است. بر اساس شکل (۱)، میزان فروش ازدست‌رفته (BO) و اعتبار ازدست‌رفته (LS) تحت تورم به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$BO=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1}\pi_{i,j}^{B}e^{-fT_{i,j}}\beta_i\int_{T_{i,j}^{'}}^{T_{i,j}}I_{i,j}(t)e^{-ft}dt \qquad (۲۵)$$

$$LS=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1}\pi_{i,j}^{L}e^{-fT_{i,j}}(1-\beta_i)\int_{T_{i,j}^{'}}^{T_{i,j}}I_{i,j}(t)e^{-ft}dt \qquad (۲۶)$$

در اینجا برای $T_{i,j}^{'}<t<T_{i,j}$ خواهیم داشت، $\left\{\begin{matrix}I_{i,j}(t)=D_{i,j}\left(t-T_{i,j}^{'}\right)\\ I_{i,j}(t)=\frac{a_{ij}+b_{ij}}{2}\left(t-T_{i,j}^{'}\right)\end{matrix}\right\}$، بنابراین میزان کلی برگشتی، سفارش‌ها (فروش ازدست‌رفته (BO) و اعتبار ازدست‌رفته (LS)) تحت تورم، پس از ساده کردن به‌صورت زیر اندازه‌گیری می‌شود: (ضمیمه (۲) ملاحظه شود).

$$BO=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1}\pi_{i,j}^{B}\beta_i e^{-fT_{i,j}}\left\{\left(\begin{matrix}\frac{a_{ij}+b_{ij}}{2\mathrm{f}}\left(e^{-f\left(T_{i,j}\right)}\left(\frac{\left(1-fT_{i,j}\right)}{f}-\left(T_{i,j}-\frac{2b_{i,j+1}}{a_{ij}+b_{ij}}\right)\right)\right)-\\ e^{-f\left(T_{i,j}-\frac{2b_{i,j+1}}{a_{ij}+b_{ij}}\right)}\left(\frac{1-f\left(T_{i,j}-\frac{2b_{i,j+1}}{a_{ij}+b_{ij}}\right)}{f}-\left(T_{i,j}-\frac{2b_{i,j+1}}{a_{ij}+b_{ij}}\right)\right)\end{matrix}\right)\right\} \qquad (۲۷)$$

$$LS=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1}\pi_{i,j}^{L}\left(1-\beta_i\right)e^{-fT_{i,j}}\left\{\begin{array}{l}\frac{a_{ij}+b_{ij}}{2f}\left(e^{-f\left(T_{i,j}\right)}\left(\frac{\left(1-fT_{i,j}\right)}{f}-\left(T_{i,j}-\frac{2b_{i,j+1}}{a_{ij}+b_{ij}}\right)\right)\right)-\\ e^{-f\left(T_{i,j}-\frac{2b_{i,j+1}}{a_{ij}+b_{ij}}\right)}\left(\frac{1-f\left(T_{i,j}-\frac{2b_{i,j+1}}{a_{ij}+b_{ij}}\right)}{f}-\left(T_{i,j}-\frac{2b_{i,j+1}}{a_{ij}+b_{ij}}\right)\right)\end{array}\right\} \tag{۲۸}$$

برای فرمول‌بندی هزینه‌های خرید در تمامی سیاست‌های واحدهای نزول قیمت، باید نقطه شکست قیمت (تخفیف کلی) را به‌صورت زیر در نظر بگیریم:

(۲۹)

$$P_{i,k}=\begin{cases}P_{i,1} & 0<Q_{i,j}\le q_{i,2}\\ P_{i,2} & q_{i,2}<Q_{i,j}\le q_{i,3}\\ \vdots & \\ P_{i,k} & Q_{i,j}\le q_{i,k}\end{cases} \quad . \quad p_{i,1}>p_{i,2}>\dots>p_{i,k}$$

پس هزینه خرید (p) به معادله زیر تبدیل می‌شود:

$$P=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N-1}\sum_{k=1}^{k_i}Q_{i,j}P_{i,k}V_{i,j,k}e^{-fT_{i,j}} \tag{۳۰}$$

۲-۸-شرح محدودیت‌ها

محدودیت (۱۱): ابتدای موجودی محصول i در دوره j برابر است با موجودی اولیه‌ی آن در دوره قبلی $j+1$ به‌علاوه مقدار سفارش، منهای تقاضا، یا در صورت کمبود در یک محصول که دریک دوره خاص اتفاق می‌افتد، سپس $L_{i,j}$ مقدار ۱ را خواهد گرفت که $I_{i,j}$ در معادله (۱۱) منفی به دست می‌آید؛ و محدودیت‌های (۱۲)، (۱۳) مربوط به‌احتمال وقوع کمبود می‌باشد که تفسیر این محدودیت‌ها به این صورت می‌باشد که اگر $b_{i,j}$ عدد بگیرد یعنی مقدار داشته باشه، یعنی کمبود رخ‌داده است. در آن صورت باید $L_{i,j}=1$ باشد. اگر $b_{i,j}=0$ در این صورت کمبودی رخ نداده است و باید $L_{i,j}=0$ شود. محدودیت (۱۴): با توجه به محدودیت‌های واقعی در روش‌های حمل‌ونقل (به‌عنوان‌مثال، فضای کامیون)، مقدار سفارش تمام محصولات در یک دوره نمی‌تواند بیشتر از یک مقدار ثابتی باشد، ازآنجایی‌که تقاضای ما تصادفی بوده و دارای حد پایین و بالا است ما نیز مقدار سفارشات محصولات را ما بین $a_{i,j}$ و $b_{i,j}$ محدود می‌کنیم تا مقدار سفارشات از مرز $b_{i,j}$ تجاوز نکند. محدودیت (۱۵): قیمت خرید برای هر واحد از محصول i برابر با P_i است و مقدار سفارش محصول i در دوره j، $Q_{i,j}$ می‌باشد. و کل بودجه برابر با C است، که مجموع سفارش‌ها ضرب‌در قیمت خرید با اعمال تورم نباید از بودجه کل تجاوز نماید. درنتیجه محدودیت بودجه به‌صورت بند (۱۵) می‌باشد. محدودیت (۱۶): ازآنجاکه به هر محصول به‌اندازه‌ی S_i مترمربع از فضای ذخیره‌سازی اختصاص داده‌شده است که مجموع سفارشات و مقدار موجودی ضربدر فضای ذخیره‌سازی هر واحد محصول باید کمتر از فضای ذخیره‌سازی کل باشد؛ بنابراین محدودیت فضای ذخیره‌سازی به‌عنوان محدودیت (۱۶) تمام‌شده است، محدودیت (۱۷) و (۱۸): این محدودیت بازه‌های شکست قیمت برای محصول i ام را نشان می‌دهد که اگر مقدار محصولات سفارش داده‌شده، در بازه k ام (بازه تعریف‌شده) قرار بگیرد، آنگاه متغیر $V_{i,j,k}=1$ می‌شود که

نشان‌دهنده آن است که محصولات خریداری‌شده در آن بازه تخفیف قرار دارد؛ که به‌صورت معادله مقابل تعریف می‌شود:

$$\sum_{k=1}^{k_i} V_{i,j,k} = \begin{cases} 1 & \text{if } \ Q_{i,j} > 0 \\ 0 & \text{if } \ Q_{i,j} = 0 \end{cases}$$ محدودیت (۱۹): اگر

سفارش انجام شود به عبارتی مقدار $Q_{i,j}$ عدد بگیرد یعنی محصول سفارش داده‌شده آنگاه $W_{i,j} = 1$ می‌شود. اگر خرید محصول i در دوره j اگر اتفاق بیفتد برابر با ۱ خواهد شد؛ که به‌صورت مقابل تعریف می‌شود:

$$W_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{if } \ Q_{i,j} > 0 \\ 0 & \text{if } \ Q_{i,j} = 0 \end{cases}$$

در این پژوهش هدف اندازه‌گیری میزان ریسک‌های پیوسته بوده است و برای عملکرد بهتر شرکت‌ها یا سازمان‌ها سعی بر این بوده است که هزینه کل موجودی را پایین بیاوریم و همچنین فضای انبارش که مسئله خیلی از شرکت‌ها می‌باشد را حداقل کنیم چون فضای ذخیره‌سازی برای موجودی محدود می‌باشد و سعی نموده‌ایم که سطح اطمینان از موجودی محصولات را در تمام دوره‌ها به حداکثر ظرفیت آن برسانیم که تا جای ممکن از بروز کمبود جلوگیری نماییم، چون بروز کمبود نیز خود باعث به وجود آمدن دو نوع هزینه در موجودی می‌شود.

۳-روش حل

برای حل مسئله پیشنهادی از یک الگوریتم ژنتیک چندهدفه مرتب‌سازی نامغلوب، استفاده‌شده است و برای اجرای دقیق از نرم‌افزار لینگو بهره می‌گیریم، که برای داده-های بزرگتر از متلب و برای داده‌های کوچکتر از نرم‌افزار لینگو استفاده می‌کنیم؛ و برای اعتبار سنجی جواب‌های هر کد، مقادیر توابع اهدافی را که از لینگو به دست آورده‌ایم را با تمامی نقاط که از کد Matlab برای توابع هدف به‌دست‌آمده مقایسه می‌کنیم، از این مقایسه چنین نتیجه‌گیری می‌شود که مقادیر توابع هدف در هر دو کد نزدیک به هم بوده مقادیر توابع هدف به‌دست‌آمده در الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب، بر مقادیر توابع هدف لینگو به‌دست‌آمده غلبه می‌کند که نشان می‌دهد جواب‌های به‌دست‌آمده از روش‌های فرا ابتکاری مؤثر و بهتر می‌باشد. همچنین اثبات این مدعا در جداول (۱) و (۲) تهیه گردیده است. در این جدول روند مقادیر تابع هدف برای ابعاد مختلف مدل با استفاده از نرم‌افزار *Lingo*12 ارائه گردیده است. این روند افزایشی زمان تا جایی پیش می‌رود که عملاً توجیه حل مسئله با نرم‌افزارهای حل دقیق از بین می‌رود.

در این جدول (۱)، روند مقادیر توابع هدف در ابعاد کوچک با استفاده از نرم‌افزار Lingo12 ارائه گردیده است. چون مدل ما غیرخطی عدد صحیح مختلط می‌باشد و جواب‌های حاصل از اجرای لینگو به‌صورت محلی می‌باشد برای دستیابی به جواب‌های فراگیر و سراسری سراغ روش حل با الگوریتم‌های فرا ابتکاری می‌رویم. نمودار سه‌بعدی مقادیر توابع هدف در جواب‌های مختلف با توجه به جدول ۲ در شکل ۲ ارائه می‌شود. شایان‌ذکر است که مسائل نمونه با تغییر تعداد محصولات i و تعداد دوره j برای حل چند نمونه مسئله مطابق جدول (۳) به‌صورت تصادفی ایجاد می‌شوند.چون برای اثبات و اعتبارسنجی نتایجی در ادبیات موجود نیست برای همین از یک الگوریتم چندهدفه بهینه‌سازی ازدحام ذرات (MOPSO)برای حل کمک گرفته‌شده است. در این بخش، ۱۰ نوع مسئله متفاوت با سایزهای مختلف مطابق اطلاعات جدول (۳) ایجاد و توسط دو الگوریتم پیشنهادی مورد حل قرار می‌گیرد؛ و هرکدام از این ۱۰ مسئله به تعداد ۱۰بار توسط هر الگوریتم در نرم‌افزارMatlab، ران شده است و سپس از تعداد اجراها میانگین گرفته‌شده است و بر اساس میانگین، مسائل نمونه توسط پنج شاخص با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۴) آورده شده است. در مورد شاخص تعداد جواب‌های پارتو، این نکته قابل‌توجه است که الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب جواب‌های پارتو برابری با الگوریتم چندهدفه بهینه‌سازی اذحام ذرات به دست آورده است. ازنقطه‌نظر شاخص فاصله-گذاری، الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب در تمامی مسائل، مقادیر کمتری نسبت به الگوریتم چندهدفه

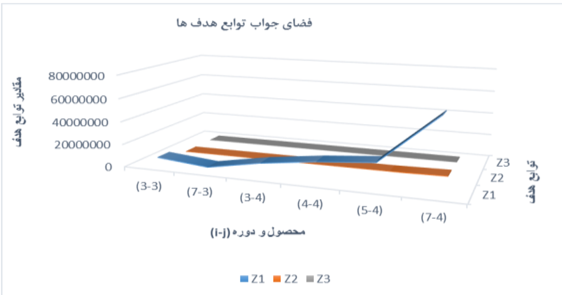
بهینه‌سازی اذحام ذرات به‌دست آورده است؛ که بیانگر این موضوع است که الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب عملکرد بالاتری نسبت به الگوریتم چندهدفه بهینه-سازی اذحام ذرات در شاخص فاصله‌گذاری دارد. در مورد شاخص بیشترین گسترش (تنوع)، الگوریتم چندهدفه بهینه-سازی اذحام ذرات در اکثر مسائل مقادیر بیشتری نسبت به الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب به‌دست آورده است؛ که بیانگر عملکرد بالای این الگوریتم در این شاخص است. در مورد شاخص فاصله جواب از ایده‌آل، الگوریتم چندهدفه بهینه‌سازی اذحام ذرات در بیشتر مسائل مقادیر کمتری نسبت به الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب-سازی نامغلوب به‌دست آورده است؛ که بیانگر عملکرد بهتر این الگوریتم در این شاخص است. ازنظر شاخص زمان محاسباتی، الگوریتم ژنتیک چندهدفه مرتب‌سازی نامغلوب در تمامی مسائل مقادیر کمتری نسبت الگوریتم چندهدفه بهینه‌سازی ازدحام ذرات به‌دست آورده است؛ و در سطر میانگین هم این مقدار مشهود است. لذا بیانگر عملکرد بالاتر این الگوریتم می‌باشد.

جدول (۱) مقادیر توابع هدف در دوره‌ها و تعداد محصولات مختلف در نرم‌افزار لینگو

تعداد محصول	تعداد دوره	مقدار تابع هدف اول	مقدار تابع دوم	مقدار تابع هدف سوم
۳	۳	۷۱۵۴۲۶۶,۰	۱۴۴۰۰,۰۰	۳,۰۱۲
۷	۳	۲۹۹۲۰۳۰	۲۷۲۶۰,۰۰	۷,۰۰۲۱۴
۳	۴	۱۱۸۵۱۸۸۰	۱۱۳۰۰۰	۶,۰۳۶۵
۴	۴	۱۷۷۵۱۵۲۰	۱۳۹۷۵۰,۰	۸,۰۰۴۵
۵	۴	21579200	۱۹۶۷۵۰,۰	۱۰,۰۱۳۰
۷	۴	۶۲۷۴۵۱۷۰	۹۷۶۶۰,۰۰	۱۴,۰۱۵۰

جدول (۲) مقادیر توابع هدف الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب در دوره‌ها و تعداد محصولات مختلف

تعداد محصول	تعداد دوره	مقدار تابع هدف اول	مقدار تابع هدف دوم	مقدار تابع هدف سوم
۳	۳	۶۸۵۹۴۵۰	۵۵۹۸۵,۲۱	۴,۸۰۵
۷	۳	۲۷۵۰۳۲۶,۲۱	۲۵۶۵,۲۳۱	۱۴,۷۳۱۳
۳	۴	۱۰۹۹۷۵۸۴,۲۳	۱۰۹,۵۶۴۲	۶,۱۲۰۷
۴	۴	۱۶۸۹۰۴۹۶,۲۴۷	۱۲۹۰۰۱,۲	۸,۵۵۴۸
۵	۴	۲۰۸۷۵۹۶۸,۲	۱۸۰۳۴۶,۱۲	۱۰,۰۲۱۸
۷	۴	۶۱۹۲۳۸۷۹,۵۴	۹۰۲۳۵۶,۹۸	۱۵,۸۵۸



شکل(۲) نمودار سه‌بعدی توابع هدف در مقادیر مختلف

جدول (۳) اطلاعات موردنیاز جهت تولید مسائل نمونه

تقاضا	$D_{i,j} \in [50,300]$
حد پایین تقاضا	$a_{ij} \in [5,100]$
حد بالای تقاضا	$b_{ij} \in [50,300]$
بودجه کلی در دسترس	$C \in [20000,1200000]$
فضای ذخیره‌سازی کل	$S \in [5000,900000]$
فضای‌ذخیره‌سازی هر واحد محصول	$s_i \in [70,130]$
قیمت خرید	$p_{i,j} \in [100,400]$
هزینه‌های سفارش دهی	$A_{i,j} \in [5000,9000]$

ادامه جدول (۳) اطلاعات موردنیاز جهت تولید مسائل نمونه

هزینه‌های نگهداری	$h_{i,j} \in [70,130]$
هزینه‌های برگشتی برای هر واحد	$\pi_{i,j}^{B} \in [80,130]$
هزینه‌های اعتبار ازدست‌رفته	$\pi_{i,j}^{L} \in [70,140]$
نرخ تورم	$f = 0.02$
بازه تعداد محصولات	$I \in [5,100]$
بازه تعداد دوره‌ها	$J \in [3,40]$
زمان در دوره که در آن محصول به صفر می‌رسد	$T_{i,j}^{'} \in [1,5]$
زمان کلی موردنیاز به‌علاوه چرخه باز پرسازی	$T_{i,j} \in [1,6]$
تعداد تخفیفات	$K = 3$
درصد ناموفقی محصول که سفارشات عقب افتاده شده است	$\beta \in [0.05,4]$
نقاط نزول قیمت (بازه شکست قیمت)	$q_{i,k} \in [30,250]$

۴-۱-نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یک مدل برنامه‌ریزی برای کنترل موجودی چندمحصولی چند دوره‌ای تحت تورم و تخفیف کلی با تقاضای تصادفی ارائه‌شده است. برای حل این مدل برنامه‌ریزی، سه تابع هدف که با دو تابع هدف کمینه‌سازی (هزینه‌های موجودی و کل فضای ذخیره‌سازی) و یک تابع هدف بیشینه‌سازی (اطمینان از سطح موجودی)، مدل‌سازی شده است. هزینه‌های موجودی شامل هزینه سفارش‌دهی، هزینه نگهداری، هزینه خرید و هزینه کمبود، تحت تورم و تخفیف کلی به‌دست‌آمده است. در این مدل محدودیت‌های فضای ذخیره‌سازی کل و بودجه کل اعمال‌شده است. همچنین کمبود نیز مجاز شمرده‌شده است که کمبود به‌صورت فروش ازدست‌رفته و اعتبار ازدست‌رفته نشان داده‌شده است؛ و باز پرسازی‌ها آنی شمرده شده است. ابتدا مدل، با یک روش دقیق با استفاده از نرم‌افزار لینگو در ابعاد کوچک‌تر حل‌شده است. این امر نشان می‌دهد که مدل بدون مشکل بوده و در ابعاد کوچک با روش دقیق قابل‌حل بوده است. ازآنجاکه مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط عدد صحیح می‌باشد و مقادیری که بدست آمده به‌صورت محلی می‌باشد، به همین دلیل، مسئله چندهدفه بودن با استفاده از روش‌های معمول قادر به بهینه‌یابی نبوده است، به همین منظور، برای دستیابی به جواب فراگیر وسراسری، برای حل مدل از یک الگوریتم فراابتکاری بهره گرفته شده است که در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب استفاده‌شده است.

۴-۲-پیشنهادات آتی

برای مطالعات آتی در این زمینه نیز می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

نرخ تورم در برخی کشورها مانند ایران به دلیل شدت نوسانات سیاسی و اقتصادی، که به‌طور مستقیم بر خرید تأثیر می‌گذارد. قدرت مردم، در مدیریت نقش مهمی ایفا می‌کند، تصمیماتی که اکثر شرکت‌ها باید بر اساس تغییرات تورمی بگیرند، می‌توان به‌عنوان توصیه برای تحقیقات آینده در نظر گرفت:

- نرخ تورم می‌تواند احتمالی یا فازی برای یک مدل واقع‌گرایانه‌تر در نظر گرفته شود.
- تقاضا احتمالی و به‌صورت تابع‌نمایی می‌توان در نظر گرفته شود.
- قیمت فروش محصولات نیز می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد.

ضمیمه(۱):

$$h_i \int_{T_{i,j}}^{a} I_{i,j+1}(t)dt = \int_{T_{i,j}}^{a} \left(I_{i,j} - D_{i,j}\left(t-a\right)\right)e^{-ft} =$$

$$h_i \int_{T_{i,j}}^{a} \left(I_{i,j} + D_{i,j}a\right)e^{-ft}dt - \int_{T_{i,j}}^{a} D_{i,j}te^{-ft}dt =$$

$$\frac{h_i}{f}\left(I_{i,j} + D_{i,j}a\right)\left(e^{-fT_{i,j}} - e^{-fa}\right) + \frac{h_i D_{i,j}}{f^2}\left(e^{-fa}\left(1-fa\right) - e^{-fT_{i,j}}\left(1-fT_{i,j}\right)\right) =$$

$$\frac{h_i}{f^2}\left(e^{-fT_{i,j}}\left(f\left(I_{i,j} + D_{i,j}a\right) + D_{i,j}fT_{i,j} - 1\right)\right) - e^{-fa}\left(f\left(I_{i,j} + D_{i,j}a\right) + \left(1-fa\right)D_{i,j}\right) =$$

$$\frac{h_i}{f^2}\left(f\left(I_{i,j} + D_{i,j}a\right)\left(e^{-fT_{i,j}} - e^{-fa}\right) - \left(e^{-fT_{i,j}}\left(1-fT_{i,j}\right) + e^{-fa}\left(1-fa\right)\right)D_{i,j}\right)$$

$$a = T_{i,j+1}\left(1 - L_{i,j+1}\right) + T'_{i,j}L_{i,j+1}$$

ضمیمه(۲):

$$\int_{T'_{i,j}}^{T_{i,j+1}} I_{i,j+1}(t)e^{-ft}dt = \int_{T'_{i,j}}^{T_{i,j+1}} D_{i,j}\left(t - T'_{i,j}\right)e^{-ft}dt = \int_{T'_{i,j}}^{T_{i,j+1}} D_{i,j}te^{-ft}dt + \int_{T'_{i,j}}^{T_{i,j+1}} D_{i,j}T'_{i,j}e^{-ft}dt =$$

$$\left(\frac{e^{-fT_{i,j+1}}D_{i,j}}{f^2}\left(1 - fT_{i,j+1}\right) - \frac{D_{i,j}}{f}T'_{i,j}e^{-fT_{i,j+1}}\right) - \left(\frac{e^{-fT'_{i,j}}D_{i,j}}{f^2}\left(1 - fT'_{i,j}\right) - \frac{D_{i,j}T'_{i,j}}{f}e^{-fT'_{i,j}}\right) =$$

$$\frac{D_{i,j}}{f}\left(e^{-fT_{i,j+1}}\left(\frac{\left(1 - fT_{i,j+1}\right)}{f} - T'_{i,j}\right) - e^{-fT'_{i,j}}\left(\frac{\left(1 - fT'_{i,j}\right)}{f} - T'_{i,j}\right)\right)$$

اگر $T_{i,j+1} - T'_{i,j} = \frac{b_{i,j+1}}{D_{i,j}}$ سپس $T^{o}_{i,j} = T_{i,j+1} - \frac{b_{i,j+1}}{D_{i,j}}$ اکنون داریم:

$$\int_{T'_{i,j}}^{T_{i,j+1}} I_{i,j+1}(t)e^{-ft}dt = \frac{D_{i,j}}{f}\left(e^{-f\left(T_{i,j+1}\right)}\left(\frac{\left(1 - fT_{i,j+1}\right)}{f} - \left(T_{i,j+1} - \frac{b_{i,j+1}}{D_{i,j}}\right)\right) - e^{-f\left(T_{i,j+1} - \frac{b_{i,j+1}}{D_{i,j}}\right)}\left(\frac{\left(1 - f\left(T_{i,j+1} - \frac{b_{i,j+1}}{D_{i,j}}\right)\right)}{f} - \left(T_{i,j+1} - \frac{b_{i.j+1}}{D_{i,j}}\right)\right)\right)$$

۵- منابع و مأخذ

[۱] دکتر علی حاج شیرمحمدی، اصول برنامه‌ریزی و کنترل تولید و موجودی‌ها، انتشارات ارکان دانش، اصفهان، ایران ۱۳۹۳، چاپ یازدهم، ص ۲۷،۲۸،۴۱،۵۱

[2].Gitae Kim, Kan Wu, Edward Huang: Optimal inventory control in a multi-period newsvendor problem with non-stationary demand ,Advanced Engineering Informatics, Volume 29, Issue 1, January 2015, Pages 139-145

[3].Dan Wang, Zhongfeng Qin, Samarjit Kar: A novel single-period inventory problem with uncertain random demand and its application, Applied Mathematics and Computation, Volume 269, 15 October 2015, Pages 133-145

[4].Sutrisno, Purnawan Adi Wicaksono: Optimal Strategy for Multi-product Inventory System with Supplier Selection by Using Model Predictive Control, Procedia Manufacturing, Volume 4, 2015, Pages 208-215

[5]. Ilkay Saracoglu, Seyda Topaloglu, Timur Keskinturk: A genetic algorithm approach for multi-product multi-period continuous review inventory models Expert Systems with Applications 41 (2014) 8189–8202

[6]. K. Taghizadeh, M. Bagherpour, I. Mahdavi: An interactive fuzzy goal programming approach for multi-period multi-product production planning problem, Fuzzy Information and Engineering

December 2011, Volume 3, Issue 4, pp 393-410

[7]. Seyed Mohsen Mousavi, Javad Sadeghi, Seyed Taghi Akhavan Niaki, Madjid Tavana: A bi-objective inventory optimization model under inflation and discount using tuned Pareto-basedalgorithms: NSGA-II, NRGA, and MOPSO,Applied Soft Computing, Volume 43, June 2016, Pages 57-72

[۸]. قاسم مصلحی، مرتضی راستی برزکی، محسن فتح اله بیاتی، بررسی اثر تورم و ارزش زمانی پول بر روی اندازه‌ی دسته‌ی تولید با وجود دوباره‌کاری در یک مدل کنترل موجودی، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۹۰، جلد۲۲ شماره ۲، ص ۱۹۲-۱۸۲

[9]. W.J. Guerrero, T.G. Yeung, C. Guéret: Joint-optimization of inventory policies on a multi-product multi-echelon pharmaceutical system with batching and ordering constraints, European Journal of Operational Research, Volume 231, Issue 1, 16 November 2013, Pages 98-108

[10]. Ata Allah Taleizadeh, Seyed Taghi Akhavan Niaki, Seyed Mohammad Haji Seyedjavadi: Multi-product multi-chance-constraint stochastic inventory control problem with dynamic demand and partial back-ordering: A harmony search algorithm ,Journal of Manufacturing Systems, Volume 31, Issue 2, April 2012, Pages 204-213

[11]. Maria Elbek, Sanne Wøhlk , “ A variable neighborhood search for the multi-period collection of recyclable materials,European Journal of Operational Research”, Volume 249, Issue 2 , 1 March 2016, Pages .540-550

[12]. Mirzazadeh A, Fatemi Ghomi SMT, Seyed Esfahani MM , “ A multiple items inventory model under uncertain external inflationary conditions,” Trends in Applied Sciences Research 6:2011, 472–480

[13]. Sana, S. S. , " The stochastic EOQ model with random sales price. Applied Mathematics and Computation", 218, 2011, pp.239–248.

[14]. R.Chakrabarty , T. Roy, K. S. Chaudhuri: A Production: Inventory Model for Defective Items with Shortages Incorporating Inflation and Time Value of Money, March 2017, Volume 3, Issue 1, pp 195–212

[15]. S. M. Mousavi, S. T. A. Niaki, A. Bahreininejad, and S. N. Musa, Multi-Item Multiperiodic Inventory Control Problem with Variable Demand and Discounts: A Particle Swarm Optimization Algorithm, Hindawi Publishing Corporation the Scientific World Journal, (2014).

[16]. S. M. Mousavi, V. Hajipour, S. T. A. Niaki and N. Aalikar, A multi-product multi-period inventory control problem under inflation and discount: a parameter-tuned particle swarm optimization algorithm, Int J Adv Manuf Technol, (2013).

[17]. N. Alikar, S. M. Mousavi, R. A. R. Ghazilla, M. Tavana and E. U. Olugu, Application of the NSGA-II algorithm to a Multi-Period Inventory-Redundancy Allocation Problem in a Series-Parallel System, Reliability Engineering and System Safety (2016).

[18]. S. M. Mousavi, V. Hajipour, S. T. A. Niaki, N. Alikar, Optimizing multi-item multi-period inventory control system with discounted cash flow and inflation: Two calibrated meta-heuristic algorithms, Applied Mathematical Modelling 37 (2013).