



## مدل سازی چند لایه زنجیره تامین محصولات دارای طول عمر محدود شرکت فروشگاه های زنجیره ای اتکا (مطالعه موردی: روغن زیتون)

محمد سمیع محمدی

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران

مهدی یوسفی نژاد عطاری (نویسنده مسؤل)

عضو هیئت علمی گروه مهندسی صنایع، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران

Email:Mahdi\_108108@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۸ \* تاریخ پذیرش: ۹۶/۷/۲۵

### چکیده

بررسی کالاهای دارای طول عمر محدود در زنجیره تامین در زنجیره تامین تولید و توزیع مواد غذایی اهمیت فوق العاده ای دارد. یکی از این محصولات روغن زیتون تولیدی شرکت فروشگاه های اتکا است که تولید و توزیع آن با توجه به عمر محدود همواره با چالش های مختلفی همراه است. لذا در این تحقیق، با توجه به بررسی وضعیت کنونی زنجیره تامین شرکت فروشگاه های اتکا در سه سطح تولید کننده، انبارش و توزیع کننده، مدل جدیدی برای تعیین مقدار بهینه توزیع که منجر به کاهش هزینه ها در این شرکت شود، ارائه شده است. ابتدا مدل سه سطحی ای را ارایه و تشریح شده و سپس با استفاده از نرم افزار گمز و هم چنین الگوریتم ژنتیک و با استفاده از اطلاعات دریافتی از شرکت فروشگاه های مقدار بهینه توزیع روغن زیتون تعیین شده است. که با توجه به نتایجی که از حل مدل بدست آمده است، اجرای مدل برای شرکت فروشگاه های اتکا نه تنها مقدار بهینه توزیع را مشخص کرده بلکه منجر به کاهش هزینه ها می شود که می توان هزینه های حاصله از آن را در بخش های مختلف دیگری سرمایه گذاری کرد.

**کلمات کلیدی:** زنجیره تامین، کالاهای دارای طول عمر محدود، روغن زیتون، شرکت فروشگاه های زنجیره ای اتکا.

## ۱- مقدمه

کالاهای با طول عمر محدود زیادی در زندگی واقعی وجود دارند در حالی که تاکنون تعریف رایج از آن‌ها در حوزه آکادمیک وجود نداشته است. به طور کلی کالاهای دارای طول عمر محدود به کالاهایی اشاره دارند که در معرض زوال، آسیب، تخریب و انقضا بودند. بنابراین طبق این تعریف، فرآورده‌های گوشتی، سبزیجات، میوه‌ها، دارو، گل‌ها، فیلم، تراشه‌های کامپیوتر، موبایل، لباس مد روز و کالاهای فصلی همگی کالاهای دارای طول عمر محدود هستند. مدیریت صحیح موجودی روی کاهش هزینه و پایداری تولید برای شرکت‌ها اثر مهمی دارد. بیشتر مدل‌های موجود برای موجودی بر اساس این فرضیه هستند که کالاها را می‌توان به طور مدت‌داری نگهداری کرد لذا در این تحقیق تصمیم گرفته شد که از کالایی که دارای طول عمر محدود است به عنوان مطالعه موردی استفاده شود که با توجه به این که بررسی زنجیره تامین کالاهای دارای طول عمر محدود از اولویت‌های پژوهشی شرکت فروشگاه‌های اتکا می‌باشد، روغن زیتون تولیدی این شرکت برای مطالعه دقیق تر در پژوهش ما انتخاب شد که این موضوع اهمیت تحقیق را بیشتر می‌کند.

هدف در این تحقیق تهیه یک مدل ریاضی سه سطحی برای مشخص نمودن میزان توزیع یک محصول دارای طول عمر محدود (زیتون) می‌باشد به طوری که هزینه‌های مربوطه در هر قسمت مانند: هزینه انبار، هزینه تولید، هزینه‌های توزیع و... کاهش یابد. کلیه افراد درگیر در زنجیره تامین از تولید کننده تا مصرف کننده از کاهش هزینه‌ها سود می‌برند که خود نیز نکته قابل توجهی می‌باشد. برای این که بتوانیم به هدف خود در این تحقیق دست پیدا کنیم ابتدا مدلی را در سه سطح تولید کننده، انبارش و توزیع کننده ارائه می‌کنیم.

پس از نوشتن مدل ابتدا به صورت حل دقیق با استفاده از نرم افزار گمز به آزمایش درستی مدل خود پرداختیم و از درستی مدل مطمئن شدیم. سپس با استفاده از روش اپسیلون کانسترن مدل خود را برای چندین مثال مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت از تکنیک فراابتکاری الگوریتم ژنتیک توسعه داده شد. سپس با استفاده از داده‌های شرکت فروشگاه‌های اتکا که در اختیار ما قرار گرفته بود، مدل با داده‌های حقیقی آزمایش پیاده سازی شده و میزان توزیع بهینه روغن زیتون تعیین شده است.

در سال ۲۰۱۴ سازوار<sup>۱</sup> یک مدل تصادفی دو هدفه در یک زنجیره تامین دو سطحی برای آیتم های فاسد شدنی با تقاضای غیر قطعی، پیشنهاد داد. یک تابع نزول ثابت با یک تابع غیر خطی هزینه نگهداری در نظر گرفته شد تا فرآیند خراب شدن را فرمول بندی کنند. به علاوه درصدی از محصولات باقیمانده در هر دوره فرض می شود که در ابتدای دوره بعدی فاسد شده باشند (Sazvar et al., 2014). به علاوه کادامبالا<sup>۲</sup> در سال ۲۰۱۶ به صورت کمی حساسیت موثر مدل scnd حلقه بسته را در ارتباط با کارایی زمان اندازه گیری می کند. آن ها یک مدل برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح چند هدفه پیشنهاد دادند تا یک شبکه کارا طراحی کنیم تا فایده اقتصادی در نظر گرفتن ارزش زمانی را در برگشت های محصول دارای طول عمر محدود نشان دهد. از این رو آن ها تلاش کردند تا ارزش زمانی را در فرآیند بازیابی برای محصولات حساس به زمان در نظر بگیرند. و محصولات با ارزش بالا را به عنوان آیتم های دارای طول عمر محدود در نظر می گیرند. (Kadambala et al., 2016) آن ها برگشتی ها را به عنوان محصولات فاسد شدنی در نظر می گیرند همان گونه که در سال ۲۰۰۶ گاید<sup>۳</sup> اشاره شده تا مقیاس های زمانی اقتصادی را در یک حلقه بسته، محاسبه کنند. آن ها یک روش بهینه سازی چند هدفه particle swram در نظر گرفتند تا مدل پیشنهادی را حل کنند. و آن روش را با الگوریتم ژنتیک غیر تسلطی مقایسه کرد تا کارایی آن را در عملکرد نشان دهد. (Guide et al., 2006) در سال ۲۰۱۵ ظهیری<sup>۴</sup> یک مدل milp ارائه داد تا یک شبکه موثر در هزینه در سیستم جمع آوری خون در افق زمانی چند دوره ای، طراحی کند. برای غلبه کردن بر فساد پذیری خون، فرض شده است که مدت هر دوره در برنامه ریزی کم تر از زمان عمر خون است. این فرض عملکرد این مدل را در سطح گسترده شهر ضمانت می کند و در عین حال محدود می کند. (Zahiri et al., 2015)

<sup>1</sup> sazvar

<sup>2</sup> kadambala

<sup>3</sup> guide

<sup>4</sup> Zahiri

از سوی دیگر در بیش تر تحقیقات مربوط به مدیریت زنجیره تامین فرض می شود که آیتم های موجودی می توانند به مدت نا محدود نگهداری شوند تا تقاضای آتی را برآورده کنند. در حالی که، بعضی از گونه ها در انبار دستخوش تغییر می شوند که در نتیجه شاید به طور جزئی یا کلی برای مصرف مناسب نباشند. برای مثال، ۲۱ روز بعد از گرفتن خون، سلول های قرمز خون فاسد می شوند و برای تزریق غیر قابل قبول می شوند. محصولات تازه، گوشت ها و مواد غذایی دیگر، بعد مدت زمان مشخصی دیگر غیر قابل استفاده می شوند. فیلم های عکاسی و داروها مثال های دیگری هستند که چرخه عمر محدودی دارند. به دلیل چرخه عمر محدود محصولات، یک مدیریت نامناسب موجودی در هر سطح از زنجیره تامین، از تولیدکننده گرفته تا مشتری، می تواند منجر به هزینه، زیادی شود. هزینه هایی مانند: هزینه سفارش و هزینه نگهداری موجودی. به علاوه ریسک تمام شدن تاریخ انقضای محصول نیز وجود دارد که هم هزینه را بالا می برد و رضایت مشتری را نیز کاهش می دهد. دریافت که چرخه عمر محصول یکی از مهم ترین فاکتورهایی است که می تواند کارایی سیستم را به طور چشم گیری کاهش دهد. در چندین دهه گذشته، تحقیقات بسیاری روی محصولات با عمر ثابت صورت گرفته است.

فریس<sup>۵</sup> در سال ۱۹۷۵ سیاست سفارش بهینه را برای یک کالای فاسد شدنی با عمر  $L$  در یک مساله با افق زمانی محدود مورد مطالعه قرار داد که تقاضاها در آن پیوسته یا گسسته بودند. فرم و مشخصه های سیاست بهینه نمایش داده شد. (Fries, 1975) نادارکامار<sup>۶</sup> و مورتن<sup>۷</sup> در سال ۱۹۹۳ کاربرد یک کلاس از ابتکاری ها را در flpp (مساله فاسد شدنی با عمر ثابت) که توسط ناهمیاس و فریس در سال ۱۹۷۵ فرمول بندی شده بود را به طور مفصل مورد بررسی قرار داد. و مرزهای موثر و نزدیکی برای مقادیر سفارش در مساله flpp بدست آورد. که توسط مطرح کردن مساله موجودی دوره ای در چهارچوب مساله روزنامه فروش به آن ها دست پیدا کردیم (Nandarkumar & Morton, 1993). در سال ۲۰۰۰ هوانگ<sup>۸</sup> و هاهن<sup>۹</sup> یک سیاست تدارک بهینه برای یک خرده فروشی که با محصولات عمر محدود با نرخ تقاضای وابسته به سطح موجودی سر و کار دارد، مورد بررسی قرار داده است (Hwang & Hahn, 2000). برک<sup>۱۰</sup> و گورلر<sup>۱۱</sup> در سال ۲۰۰۸ یک سیاست (Q,R) بازدید پیوسته را در یک سیستم موجودی فاسد شدنی مورد بررسی قرار داد. که در آن تقاضاها توزیع پواسون دارند، عمر تقاضا و زمان تحویل ثابت می باشند و نیز فروش از دست رفته وجود دارد. یک روش زنجیره مارکو در فرمول بندی این مدل ارائه شده است. همه تحقیقات بالا به طور کلی با سیستم های موجودی یک سطحی سر و کار دارند (Berk & Gurlr, 2008). در سال ۲۰۰۶ کانچانا<sup>۱۲</sup> و انالارک<sup>۱۳</sup> یک سیستم زنجیره تامین دو سطحی را مورد مطالعه قرار داد که در آن فرض شده است که برای هر دوی فروشنده و خریدار یک تصمیم گیرنده وجود دارد. آن ها یک هدف کلی دارند و آن ماکزیم کردن سود زنجیره تامین است. در واقع، اعضای زنجیره تامین، موجودیت های متفاوتی هستند که منافع و علاقه های مختص به خودشان را دارند. هر تصمیم گیرنده به دنبال بهینه کردن عملکرد خودش است که می تواند منجر به یک سیستم ناکارا شود. برای حل این مساله، یک مکانیسم مناسبی لازم است تا هماهنگی را در بین قسمت های مختلف در زنجیره تامین، بوجود آورد. (Kanchana & Anulark, 2006) مثالی هایی برای چنین مکانیسم هایی شامل موارد زیر است: مکانیسم تخفیف گویال<sup>۱۴</sup> و گوپتا<sup>۱۵</sup> در سال ۱۹۸۹، سیاست برگشت سرمایه ایمونس<sup>۱۶</sup> و گیلبرت<sup>۱۷</sup> در سال ۱۹۹۸، قرارداد اشتراک سود در سال ۲۰۰۴ توسط جیانوکارو<sup>۱۸</sup> و پونتراندولفو<sup>۱۹</sup> و سیاست

<sup>5</sup> Fries

<sup>6</sup> Nandarkumar

<sup>7</sup> Morton

<sup>8</sup> Hwang

<sup>9</sup> Hahn

<sup>10</sup> berk

<sup>11</sup> Gurlr

<sup>12</sup> Kanchana

<sup>13</sup> Anulark

<sup>14</sup> Goyal

<sup>15</sup> Gupta

<sup>16</sup> Emmons

<sup>17</sup> Gilbert

<sup>18</sup> Giannoccaro

<sup>19</sup> Pontrandolfo

تاخیر در پرداخت ها در سال ۲۰۰۶ توسط جابر<sup>۲۰</sup> و عثمان<sup>۲۱</sup> (Goyal & Gupta, 1989)، (Emmons & Gilbert, ) 1998 (Giannoccaro & Pontrandolfo, 2004) (Jaber & Osman, 2006).

از بین این مکانیسم های هماهنگی، سیاست تاخیر در پرداخت، یکی از متداول ترین مکانیسم هاست. فروشنده اغلب به خریدار پیشنهاد یک دوره تاخیر می دهد که به دوره اعتبار تجارت معروف است. که این سیاست بازبایی برای افزایش فروش و کاهش سطح موجودی در دست، می باشد. وقتی که یک اعتبار تجارت پیشنهاد می شود، مقدار زمانی که سرمایه خریدار درگیر موجودی است، کاهش می یابد که منجر به کاهش هزینه نگهداری خریدار می شود. به علاوه، طی زمان دوره اعتبار تجارت، خریدار می تواند منافع را از فروش کالاها بدست آورد و نیز سود خود را افزایش دهد.

در چند دهه ی گذشته تحقیقات و پژوهش های متعددی درباره ی محصولات با عمر و چرخه ی ثابت انجام شده است. کنچانا و نولرک<sup>۲۲</sup> نشان دادند که طول عمر محصول یکی از عوامل اصلی است که به طور قابل توجهی باعث کاهش عملکرد سیستم می شوند و ناهمبستگی<sup>۲۳</sup> به سیاست های سفارش بهینه برای محصول با طول عمر دقیق آن پرداخته و تحذب و نتایج منحصر به فرد برای افق محدود (مسئله عمر ثابت مواد فاسدشدنی) را توسعه داد. فرایس<sup>۲۴</sup> سیاست بهینه سفارش برای یک کالای فاسد شدنی با مشکل طول عمر L در افق محدود با خواسته های مداوم و یا گسسته را مورد مطالعه قرار داد. همچنین فرم و خواص دقیق سیاست بهینه ی آن ارائه شد (Kanchana & Anulark, 2006)، (Nahmias, 1975)، (Fries, 1975).

مدیریت زنجیره تامین نقش مهمی در بهینه سازی هزینه های تولید کننده در بازارهای رقابتی، ایفا می کند. میرمجلسی<sup>۲۵</sup> و شفییعی<sup>۲۶</sup> در سال ۲۰۱۶ یک مساله زنجیره تامین چند دوره ای، چند محصولی، چند سطحی (پلکانی) و تامین ظرفیت دار برای محصولات با عمر کوتاه، با استفاده از هر دو روش دقیق و الگوریتم های فراابتکاری ارائه دادند. سطوح در نظر گرفته شده در شبکه زنجیره تامین رو به جلو شامل موارد زیر است: تامین کنندگان، مراکز بازرسی ترکیبی محصول، مراکز ترکیبی مجموعه انبار، خرده فروشان، مراکز عرضه، مراکز ترمیم. برای برقراری هر دو خاصیت راهبردی و تاکتیکی مساله و به خاطر پیچیدگی مساله، مساله مکان، ابتدا توسط یک روش دقیق که در آن تصمیمات راهبردی برای کم کردن هزینه های مکان یابی گرفته شده حل شد. سپس مساله تخصیص با استفاده از هر دو روش دقیق و الگوریتم های فراابتکاری حل شد. که در آن بر پایه اطلاعات بدست آمده از مساله مکان یابی سود ماکزیمم سازی و نیز تصمیمات تاکتیکی گرفته شد. یک رویه بازخورد چرخشی در بین مدل های مکان یابی و تخصیص پیشنهاد شد تا به بهترین جواب برسیم. مدل تخصیص با استفاده از یک روش جدید، خطی سازی شده است و برای رویارویی با عدم قطعیت، یک مدل برنامه ریزی ترکیبی عدد صحیح بهبود داده که می تواند خطی بودن مدل را حفظ کند. در نتایج محاسباتی، موثر بودن روش دقیق برای مساله مکان یابی را نشان می دهند (Mirmajlesi & Shafaei, 2016).

نانداکومار و مورتون<sup>۲۷</sup> از جزئیات دقیق یک کلاس از فناوری هوشمند فرموله شده توسط ناهمبستگی و فریس استفاده کرده و کارآمدی بدست آمده در نزدیکی محدوده های نزدیک را بر روی مقادیر مسئله ی عمر ثابت مواد فاسد شدنی توسط روش مسئله ی موجودی دوره ای در چارچوب مسئله روزنامه فروش را توسعه دادند (Nandarkumar & Morton, 1993). فوجی وارا سووندی و سدراج<sup>۲۸</sup> مسئله ی سیاست سفارش و صدور را در یک سیستم توزیع دو مرحله ای در مورد کنترل محدوده ی طول عمر گوشت تازه در یک سوپرمارکت بررسی کردند. که در آن محصول نگهداری می شود و تا حدودی اجزاء محصول در یک اتاق سرد فرآوری می شوند (مرحله اول) قبل از اینکه انتقال یابند به قفسه های نمایش (مرحله دوم) مقادیر سفارش از

<sup>20</sup> Jaber

<sup>21</sup> Osman

<sup>22</sup> Kanchana And Anulark

<sup>23</sup> Nahmias

<sup>24</sup> Fries

<sup>25</sup> Mirmajlesi

<sup>26</sup> Shafaei

<sup>27</sup> Nandarkumar And Morton

<sup>28</sup> Fujiwara, Soewandi, And Sedarage

فروشنده خارج شده و سفارش مقدار صدور محصول برای هر یک از اجزاء  $i$  بدست می آید (Fujiwara, Soewandi, & Sedarage, 1975).

لیو و لیان<sup>۲۹</sup> مسئله دوباره پرکردن یک سیستم موجودی (S,S) را برای یک محصول با طول عمر ثابت نام گذاری کردند. همچنین آن ها یک فرآیند تقاضای بازسازی کلی در نظر گرفتند و نتایج فرم را برای مورد بازگشت سفارش توسعه دادند. (Liu & Lian, 1999) هوانگ و هان<sup>۳۰</sup> یک سیاست بهینه برای یک خرده فروشی را بررسی کردند که با ارقام دارای طول عمر ثابت با نرخ تقاضای وابسته به سطح موجودی معامله می کند (Hwang & Hahn, 2000). جابر<sup>۳۱</sup> و عثمان<sup>۳۲</sup> یک مدل متمرکز را پیشنهاد کردند که در آن سفارشات افراد در یک زنجیره تأمین دو سطحی (تأمین کننده-توزیع کننده) به وسیله ی تاخیر در پرداخت به حداقل رساندن هزینه های داخلی و زنجیره ی آن ها هماهنگ می شوند. چن و کانگ<sup>۳۳</sup> نمونه های کاملی برای تعیین ضریب مذاکره و حداکثر تاخیر دوره ی پرداخت را ایجاد کردند (Chen & Kang, 2007). برک و گورلر<sup>۳۴</sup> یک سیاست بازبینی مداوم (Q,r) را در یک سیستم موجودی فاسدشدنی با تقاضای پواسون، عمر مفید ثابت، زمان انتظار ثابت و فروش از دست رفته در نظر گرفتند (Chen & Kang, 2008).

همه ی آن ها دارای یک هدف واحد و مشترک بودند که به جهت آن سعی در افزایش میزان سود و کارایی در زنجیره ی تأمین بودند. در واقع اعضای یک سیستم زنجیره ی تأمین هویت هایی متفاوت با علایق خود می باشند و هر تصمیم گیرنده با بالا بردن سطح کارایی خود، در واقع باعث افزایش کارایی کل سیستم می شود. بنابراین وجود یک مکانیزم یا واسط بین اعضا و بخش های یک سیستم به جهت ایجاد هماهنگی و تطبیق واحدها با یکدیگر احساس می شود. نمونه های از این مکانیزم ها شامل مکانیزم تخفیف مقدار، سیاست بازپرداخت، قرارداد تقسیم درآمد و ... می باشد.

سامرا و گوپال و آچاریا<sup>۳۵</sup> در سال ۲۰۰۷ به مطالعه ی یک مکانیزم هماهنگ سازی بین بخش های زنجیره به واسطه ی گزینه ی اعتباری، به گونه ای که قسمت های مختلف بتوانند مواد مازاد را عادلانه پس از ارضای اهداف و سودهای خود تقسیم کنند پرداختند و به دو نتیجه رسیدند که در حالت اول، هیچ بخشی دارای سود یا منفعت شخصی نبوده و در حالت دوم هر دو دارای سود شخصی می باشد. مطالعات اخیر روی تاخیر در پرداخت ها و میزان بودجه ی در دسترس، دارای یک فرضیه ی مشترک می باشند:

عمر و چرخه ی حیات محصولات نامحدود بوده و برای پرداختن به موضوعاتی که در آن اجناس دارای زمان مجاز محدود و ثابت جهت نگهداری کالا می باشند، ناکارآمد و ناکافی می باشد و این در حالی است که مسائل و مشکلات مربوط به محصولات با عمر ثابت در بیشتر بخش های اقتصادی رخ می دهد (Samrah, Goyal & Acharya, 2007).

## ۲- مواد و روشها

امروزه مسائل زنجیره تامین محصولات دارای طول عمر محدود توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است به طوری که از روش های مختلفی برای حل آن استفاده می شود. در این بخش با توجه به توضیحاتی که در بخش قبلی داده شد و بررسی روش های حل مختلف ابتدا پارامترهای مختلفی که در نظر داریم را معرفی کرده و سپس به طراحی مدلی برای مساله مورد نظر که همان مدل سازی زنجیره تامین محصولات دارای طول عمر محدود (روغن زیتون) می باشد می پردازیم.

در ادامه محدودیت های مدل را تعریف کرده و سعی می کنیم با طراحی شکلی روابط را توضیح دهیم. در این بخش، سعی بر آن است که با طراحی مدلی مناسب به اهداف مورد نظر برسیم. مدلی که طراحی می کنیم سه سطح: تولید، توزیع و انبارش را شامل می شود و هدف از آن کاهش هزینه ها در همه سطوح است.

<sup>29</sup> Liu And Lian

<sup>30</sup> Hwang And Hahn

<sup>31</sup> Jaber

<sup>32</sup> Osman

<sup>33</sup> Chen And Kang

<sup>34</sup> Berk And Gürler

<sup>35</sup> Samrah, Goyal and Acharya

در بسیاری از سناریوهای عملی، فساد کالا تا وقتی که کیفیت آن به زیر سطح معینی، مسئله ساز نیست. تنها در صورتی که این سطح معین برقرار نباشد، مشتری، کالا را با کیفیت نامرغوب تلقی می‌کند. در چنین مواردی مشتری درخواست تخفیف کالا می‌کند یا تصمیم به عدم مصرف آن می‌گیرد. این واقعیت وجود دارد که مشتری به تغییرات رخ داده در کیفیت کالا تا جایی که بالاتر از سطح قابل قبول باشد واکنشی نشان نمی‌دهد، هر چند که علی‌رغم فساد کالا، مشتری نمی‌تواند هیچ گونه تغییری در ویژگی‌های کالا (مانند تغییر رنگ) را مشاهده کند. پس توانایی ارزیابی فاسد یا سالم بودن کالا را ندارد. در نتیجه، فرآیند فساد کالا را می‌توان طی زمان تولید کالا نادیده گرفت اگر فرض شود که زمان بندی تولید عرضه‌کننده به شیوه‌ای است که یکی از ویژگی‌های زیر را تامین می‌کند:

الف) فساد طی فرآیند تولید به طور ویژه بالاتر از سطح قابل قبول روی می‌دهد.

ب) عرضه‌کننده با قراردادن کالا در معرض مواد شیمیایی فرآیند فساد را به تاخیر می‌اندازد.

هنگامی که کالا به دست خریدار می‌رسد، با آن برخورد شده (مثلاً فریز می‌شود) و متعاقباً مورد پردازش قرار می‌گیرد. در نتیجه فساد کالا نزد خریدار را هم می‌توان نادیده گرفت. فرضیه دومی که درباره‌ی فرآیند فساد ایجاد شده؛ آن است که نرخ فساد بستگی به اندازه‌ی کالا دارد. دلیل هم این است که بسیاری از کالاهای کشاورزی طی فرآیند رسیدن، گرما تولید می‌کنند که فساد را تسریع می‌کند.

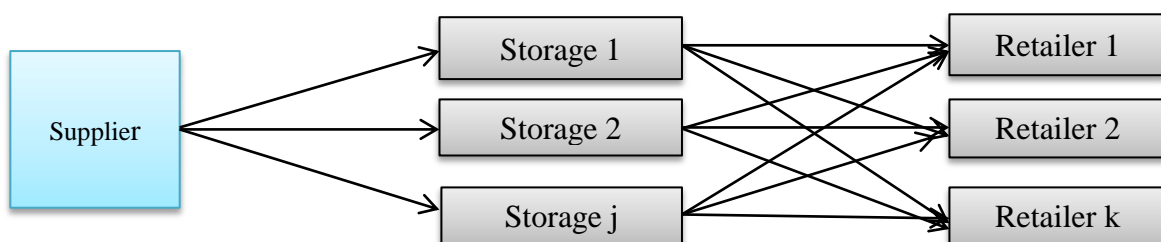
جهت کند کردن پروسه‌ی فساد کالاها می‌بایست طی نگهداری یا حمل و نقل در جای خشک باشند. اگر چندین واحد کالای مختلف با هم نگهداری شوند مثلاً در محفظه یا انبار کالا، آنگاه زمان بسیار زیادی می‌طلبد تا کاهایی که در موجودی انبار قرار گرفته‌اند خنک شوند در حالی که برای کالاهای نزدیک به واحد خنک کننده این طور نیست. پس هر چه محموله بزرگتر باشد زمان بیشتری می‌طلبد تا دمای کل کالاها به سطح قابل قبول کاهش یابد و در نتیجه نرخ فساد هم بزرگتر خواهد شد. جدا از آنچه که در بالا اشاره شد فرضیات زیر را نیز در مدل نظر می‌گیریم:

۱- کمبودها مجاز می‌باشد و فرض می‌شود که به طور کامل از نوع پس افت است و در نتیجه هزینه کمبود داریم. استفاده از فاکتور کمبود هزینه شیوه‌ای رایج در مدل‌های موجودی احتمالی است هر چند که تعیین این فاکتور در عمل آسان نیست. هزینه کمبود شامل همه هزینه‌هایی می‌شود که به دلیل تاخیر روی می‌دهند مثلاً هزینه‌ی بالای حمل و نقل برای تحویل‌های بعدی، هزینه‌ی از دست دادن مشتری، هزینه‌ای که به خاطر جریمه‌ی قرارداد پرداخت می‌شود.

۲- برای مدل‌سازی زمان تحویل احتمالی از توزیع نمایی با میانگین  $L_0$  استفاده می‌کنیم که فرضیه‌ای رایج در مدل‌سازی با زمان تحویل احتمالی است.

۳- هدف ما به حداقل رساندن هزینه‌ی کل مورد انتظار در زنجیره‌ی عرضه است به جای آنکه هزینه‌ی هر طرف زنجیره به طور مجزا مورد بررسی باشد. بنابراین کار ما در دسته مسائل JELS (اندازه انباشته یکپارچه اقتصادی) قرار دارد.

به طور کلی در این تحقیق ما یک مدل سه سطحی با سطوح تولید، توزیع و انبارش برای روغن زیتون که کالای دارای طول عمر محدود است پرداخته و یک مدل کاربردی برای شرکت فروشگاه‌های اتکا ارائه خواهیم داد. در شکل ۱ به منظور درک بهتر مساله یک شمای کلی از مساله مورد بررسی نشان داده شده است.



شکل شماره (۱): شمای کلی از مساله مورد بررسی

در ادامه پس از تعریف پارامترها و متغیرهای تصمیم مساله، مدل مساله ساخته می شود.

اندیس ها به صورت زیر می باشد :

$i$  اندیس محصولات

$j$  اندیس محل های ذخیره سازی

$k$  اندیس خرده فروش

$t$  اندیس دوره های زمانی

$s$  اندیس سناروهای مختلف

پارامترهای مساله به صورت زیر می باشد:

$p_{its}$  حجم تولید محصول  $i$  توسط تامین کننده در زمان  $t$  و در سناریوی  $s$

$v_j$  حجم انبار  $j$  ام

$D_{ikts}$  تقاضای خرده فروش  $k$  ام از محصول  $i$  ام در زمان  $t$  و در سناریوی  $s$

$Cd_{ijkts}$  هزینه جابه جایی یک واحد محصول  $i$  ام از انبار  $j$  ام به خرده فروش  $k$  ام در زمان  $t$  و در سناریوی  $s$

$Cd'_{ijts}$  هزینه جابه جایی یک واحد محصول  $i$  ام از تامین کننده به انبار  $j$  ام در سناریوی  $s$

$O_{its}$  هزینه عملیاتی و تولیدی برای تولید یک واحد محصول  $i$  ام توسط تامین کننده در زمان  $t$  در سناریوی  $s$

$O'_{ijts}$  هزینه انبارداری برای انبار  $j$  ام برای یک واحد محصول  $i$  ام در زمان  $t$  برای سناریوی  $s$

$TL_{ijts}$  مدت زمان حمل محصول  $i$  ام از تامین کننده به انبار  $j$  ام در زمان  $t$  در سناریوی  $s$

$F_{ijts}$  مدت زمان ماندگاری محصول  $i$  ام در انبار  $j$  ام در دوره  $t$  و سناریوی  $s$

$F'_{ijkts}$  مدت زمان حمل محصول  $i$  ام از انبار  $j$  ام به خرده فروش  $k$  ام در زمان  $t$  و در سناریوی  $s$

$F''_{ikts}$  مدت زمان ماندگاری محصول  $i$  ام در دست خرده فروش  $k$  ام در زمان  $t$  و سناریوی  $s$

$\Pi_s$  احتمال انتخاب سناریو ها

$M$  یک مقدار بزرگ

$cs h_{ikts}$  هزینه کمبود

متغیرهای تصمیم به صورت زیر می باشد:

$X_{ijts}$  مقدار محصولی که تامین کننده از محصول  $i$  ام به انبار  $j$  ام در زمان  $t$  و در سناریوی  $s$  ارسال می کند.

$Y_{ijkts}$  مقدار محصول  $i$  ام که از انبار  $j$  ام به خرده فروش  $k$  ام در زمان  $t$  و در سناریوی  $s$  ارسال می کند.

$X'_{ijts}$  اگر محصول  $i$  ام به انبار  $j$  ام در زمان  $t$  و در سناریوی  $s$  برود  $1$  و در غیر این صورت  $0$  است.

$Y'_{ijkts}$  اگر محصول  $i$  ام به خرده فروش  $k$  ام در زمان  $t$  و در سناریوی  $s$  برود  $1$  و در غیر این صورت  $0$  است.

$L_i$  طول عمر محصول  $i$  ام

$sh_{ikts}$  متغیر کمبود

در ادامه پس از شرح روابط مربوطه، مدل ریاضیاتی ایجاد خواهیم کرد:

هزینه ها به صورت زیر می باشد:

هزینه هایی که در این مدل وجود دارد شامل هزینه های عملیاتی و تولیدی، هزینه های انتقال محصولات از تولیدکننده به

انبار، هزینه های نگهداری محصولات یا هزینه های انبارداری، هزینه کمبود و در نهایت هزینه های ارسال محصول از انبار به خرده

فروش است. در ادامه به بررسی هر یک از این هزینه پرداخته شده است:

هزینه های عملیاتی و تولیدی به صورت زیر می باشد :

این هزینه برابر است با حجم تولید از هر محصول، توسط تامین کننده، در هر زمان و در هر یک از سناریوها ( $P_{its}$ ) ضرب در

هزینه  $i$  مربوط به تولید آن ( $O_{its}$ ). یعنی:

$$\sum_s \sum_i \sum_j \sum_t \Pi_s P_{its} O_{its} \quad (۱)$$

هزینه‌های انتقال محصولات از تولیدکننده به انبار به صورت زیر می باشد :

این هزینه برابر است با مقدار محصولی که تامین کننده از هر محصول به هر یک از انبارها، در هر زمان و در هر سناریو ( $X_{ijts}$ ) ارسال می کند ضرب در هزینه مربوط به این انتقال ( $cd'_{ijts}$ ). این هزینه در رابطه ۲ نشان داده شده است.

$$\sum_s \sum_i \sum_j \sum_t \Pi_s cd'_{ijts} X_{ijts} \quad (۲)$$

هزینه‌های نگهداری محصولات یا هزینه‌های انبارداری به صورت زیر می باشد :

هزینه انبارداری برابر است با مقدار محصولی که تامین کننده از هر محصول به هر یک از انبارها، در هر زمان و در هر سناریو ( $X_{ijts}$ ) ارسال می کند ضرب در هزینه انبارداری برای هر انبار و برای هر واحد از هر محصول، در هر زمان و برای سناریو ( $O'_{ijts}$ ). این هزینه در رابطه ۳ آورده شده است:

$$\sum_s \sum_i \sum_j \sum_t \Pi_s O'_{ijts} X_{ijts} \quad (۳)$$

هزینه‌های ارسال محصول از انبار به خرده فروش به صورت زیر می باشد :

این هزینه برابر است با مقداری از هر محصولی که از هر انبار، به هر خرده فروش، در هر زمان و در هر سناریو ارسال می شود ( $Y_{ijkts}$ ) ضرب در هزینه جابه جایی هر یک واحد از هر محصول، از هر انبار به هر خرده فروش، در هر زمان و در هر سناریو ( $cd_{ijkts}$ ). این هزینه در رابطه ۴ نشان داده شده است:

$$\sum_s \sum_i \sum_j \sum_t \sum_k \Pi_s Y_{ijkts} cd_{ijkts} \quad (۴)$$

هزینه کمبود به صورت زیر می باشد :

این هزینه از ضرب هزینه کمبود در مقدار کمبود به دست می آید و به تابع هدف هزینه افزوده میشود. مقدار این کمبود در رابطه ۵ نشان داده شده است.

$$\sum_s \sum_i \sum_t \sum_k \Pi_s sh_{ikts} csh_{ikts} \quad (۵)$$

بنابراین مجموع این هزینه ها، هزینه های کل زنجیره تامین مورد بررسی را نشان میدهد که در تابع هدف اول قرار داده شده است و سعی در به حداقل رساندن این تابع هدف داریم. مقدار تابع هدف اول در رابطه ۶ نشان داده شده است:

$$z_1 = \sum_s \sum_i \sum_j \sum_t \Pi_s (P_{its} O_{its} + cd'_{ijts} X_{ijts}) + \sum_s \sum_i \sum_j \sum_t \Pi_s O'_{ijts} X_{ijts} + \sum_s \sum_i \sum_j \sum_t \sum_k \Pi_s Y_{ijkts} cd_{ijkts} + \sum_s \sum_i \sum_t \sum_k \Pi_s sh_{ikts} csh_{ikts} \quad (۶)$$

در تابع هدف دوم حداقل کردن طول عمر هر محصول را در نظر خواهیم گرفت:

$$z_2 = \sum_i L_i \quad (۷)$$

محدودیت های بررسی وجود ارسال کالا به صورت زیر می باشد :



اگر هر محصول به هر انباری در هر واحد زمانی  $t$  و در هر سناریوی  $S$  برده شود در این صورت تامین کننده باید حتما مقدار درخواستی از آن محصول را به انبار مربوطه و در همان زمان  $t$  و در سناریوی  $S$  ارسال نماید؛ به طوری که این مقدار درخواستی باید کمتر از یک حد بالایی باشد. این محدودیت در رابطه های ۷ و ۸ نشان داده شده است:

$$X_{ijts} \geq X'_{ijts} \quad \forall i, j, t, s \quad (7)$$

$$X_{ijts} \leq MX'_{ijts} \quad \forall i, j, t, s \quad (8)$$

همچنین این مطلب در سمت خرده فروش نیز صادق است به عبارتی اگر هر محصول به هر خرده فروش در هر زمان  $t$  و در هر سناریوی  $S$  برده شود، تامین کننده باید تمام مقدار محصول مربوطه را از انبار مربوطه به خرده فروش مربوطه در زمان  $t$  و در سناریوی  $S$  ارسال نماید؛ به طوری که این مقدار باید کمتر از یک حد بالایی باشد. این محدودیت نیز در روابط ۹ و ۱۰ نشان داده شده است:

$$Y_{ijkts} \geq Y'_{ijkts} \quad \forall i, j, k, t, s \quad (9)$$

$$Y_{ijkts} \leq MY'_{ijkts} \quad \forall i, j, k, t, s \quad (10)$$

محدودیت حجم انبار به صورت زیر می باشد:

مقدار محصولی که تامین کننده از هر محصول، به هر انبار، در هر واحد زمانی  $t$  و در هر سناریوی  $S$  ارسال می کند باید کمتر از حجم انبار مربوطه باشد. این محدودیت در رابطه ۱۱ آورده شده است:

$$\sum_i \sum_t \sum_s X_{ijts} \leq V_j \quad ; \quad \forall j \quad (11)$$

محدودیت حجم تولید به صورت زیر می باشد :

مقدار محصولی که تامین کننده از هر محصول، به هر انبار، در هر زمان و در سناریو ارسال می شود باید کمتر از حجم تولیدی آن محصول، توسط تامین کننده در همان زمان و در سناریوی مربوطه باشد. این محدودیت در رابطه ۱۲ نشان داده شده است:

$$\sum_j X_{ijts} \leq P_{its} \quad ; \quad \forall i, t, s \quad (12)$$

محدودیت توازن بین ورود و خروج از انبار به صورت زیر می باشد:

مقدار محصولی که تامین کننده از هر محصول به هر انبار در هر زمان و در هر سناریو ارسال می کند باید بزرگتر از مقدار همان محصول که از همان انبار به هر خرده فروش در زمان مربوطه و در سناریوی مربوطه ارسال می شود باشد و در واقع نرخ خروج از انبار نمی تواند بیشتر از ورودی ها به انبار باشد. این محدودیت در رابطه ۱۳ نشان داده شده است:

$$\sum_i \sum_t \sum_s \sum_j X_{ijts} \geq \sum_s \sum_i \sum_j \sum_t \sum_k Y_{ijkts} \quad (13)$$

محدودیت تقاضا در خرده فروش به صورت زیر می باشد:

مقدار محصولی که از هر انبار، به هر خرده فروش، در هر زمان و در هر سناریو ارسال می شود باید کمتر از تقاضای هر خرده فروش از آن محصول در همان زمان و در سناریوی مربوطه باشد. در واقع این محدودیت بیانگر برآورده شدن تقاضا در خرده فروش است. این محدودیت در رابطه ۱۴ نشان داده شده است:

$$\sum_j Y_{ijkts} \leq D_{ikts} \quad ; \quad \forall i, k, t, s \quad (14)$$

همچنین رابطه ۱۵ نیز بیانگر مقدار متغیر کمبود است که برابر است با تقاضای خرده فروش  $k$  ام از محصول  $i$  ام در زمان  $t$  و در سناریوی  $S$  منهای مقدار محصول  $k$  ام که از تمام انبارها به خرده فروش  $k$  ام در زمان  $t$  و در سناریوی  $S$  ارسال می شود.

$$sh_{ikts} = D_{ikts} - \sum_j Y_{ijkts} \quad ; \quad \forall i, k, t, s \quad (15)$$

محدودیت طول عمر محصولات به صورت زیر می باشد:

این محدودیت نشان میدهد که اگر هر محصول، به هر انبار، در هر واحد زمانی و در هر یک از سناریوها برده شود در این صورت یک مدل زمان حمل و یک مدت زمان ماندگاری برای این حالت وجود خواهد داشت که به صورت زیر نشان داده می شود:

$$X'_{ijts}(TL_{ijts} + F_{ijts}) \quad \forall i, j, t, s$$

همچنین در صورت حمل این محصول به سمت خرده فروشان نیز هر یک از این محصولات دارای یک زمان حمل به سمت هر خرده فروش و یک مدت زمان ماندگاری نزد خرده فروش دارند که به صورت رابطه زیر نشان داده می شود:

$$Y'_{ijkts}(F'_{ijkts} + F''_{ikts}) \quad \forall i, j, k, t, s$$

به طوریکه مجموع دو زمان بالا محدودیت طول عمر محصول را نشان می دهد. این محدودیت در رابطه ۱۷-۳ نشان داده شده است:

$$X'_{ijts}(TL_{ijts} + F_{ijts}) + Y'_{ijkts}(F'_{ijkts} + F''_{ikts}) \leq L_i \quad (۱۶)$$

در ادامه مدل ریاضیاتی ایجاد خواهیم کرد:

$$\begin{aligned} \min z_1 = & \sum_s \sum_i \sum_j \sum_t \Pi_s (P_{its} O_{its} + cd'_{ijts} X_{ijts}) \\ & + \sum_s \sum_i \sum_j \sum_t O'_{ijts} X_{ijts} + \sum_s \sum_i \sum_j \sum_t \sum_k \Pi_s Y_{ijkts} cd_{ijkts} \\ & + \sum_s \sum_i \sum_t \sum_k \Pi_s sh_{ikts} csh_{ikts} \end{aligned}$$

$$\min z_2 = \sum_i L_i$$

S.T.

$$X_{ijts} \geq X'_{ijts} \quad \forall i, j, t, s \quad (۷)$$

$$X_{ijts} \leq MX'_{ijts} \quad \forall i, j, t, s \quad (۸)$$

$$Y_{ijkts} \geq Y'_{ijkts} \quad \forall i, j, k, t, s \quad (۹)$$

$$Y_{ijkts} \leq MY'_{ijkts} \quad \forall i, j, k, t, s \quad (۱۰)$$

$$X'_{ijts} \geq Y'_{ijkts} \quad \forall i, j, k, t, s$$

$$\sum_i \sum_t \sum_s X_{ijts} \leq V_j \quad ; \quad \forall j \quad (۱۱)$$

$$\sum_j X_{ijts} \leq P_{its} \quad ; \quad \forall i, t, s \quad (۱۲)$$

$$\sum_i \sum_t \sum_s \sum_j X_{ijts} \geq \sum_s \sum_i \sum_j \sum_t \sum_k Y_{ijkts} \quad (۱۳)$$

$$\sum_j Y_{ijkts} \leq D_{ikts} \quad ; \quad \forall i, k, t, s \quad (۱۴)$$

$$sh_{ikts} = D_{ikts} - \sum_j Y_{ijkts} \quad ; \quad \forall i, k, t, s \quad (15)$$

$$X'_{ijts}(T_{ijts} + F_{ijts}) + Y'_{ijkts}(F'_{ijkts} + F''_{ikts}) \leq L_i \quad (16)$$

$$X_{ijts}, Y_{ijkts} \geq 0$$

$$X'_{ijts}, Y'_{ijkts} \in \{0,1\}$$

### ۳- نتایج و بحث

برای اعتبار سنجی مدل از نرم افزار گمز استفاده کرده ایم. با توجه به دو هدفه بودن مساله در دسترس ابتدا برای حل مساله با استفاده از روش اپسیلون محدودیت آن را به صورت یک مساله تک هدفه تبدیل کرده ایم. شرح کامل این روش به همراه یک مثال در قسمت بعد آورده شده است. همچنین مساله را با استفاده از الگوریتم فراابتکاری NSGA-II نیز حل کرده ایم که شرح کامل این الگوریتم به همراه کروموزوم های تولیدی در ادامه توضیح داده می شود.

یکی از کارآمدترین و مشهورترین الگوریتم های بهینه یابی چندهدفه، الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب II (NSGA-II) است. این الگوریتم یکی از سریع ترین و توانمندترین الگوریتم های بهینه سازی است که نسبت به سایر روش ها از پیچیدگی عملیاتی کمتری برخوردار بوده و با استفاده از اصل عدم تسلط (عدم غلبه کردن) و محاسبه فاصله ازدحام نقاط بهینه پارتو را به دست می آورد که از گستردگی مطلوبی در حوزه تغییرات توابع اهداف برخوردارند و به طراح، آزادی انتخاب طراحی مورد نظر خود را از میان طراحی های بهینه شده می دهد. در NSGA-II، به طور همزمان حفظ نخبه گرایی و پراکندگی مدنظر قرار گرفته است. نحوه تولید کروموزوم را با ذکر یک مثال شرح می دهیم. به عنوان مثال فرض می کنیم که مساله ای با دو محصول، سه محل ذخیره سازی، دو خرده فروش، سه دوره زمانی و دو سناریو وجود دارد. ابتدا متغیر  $X'_{ijts}$  را به صورت تصادفی تولید میکنیم. برای تولید این متغیر از تعریف آرایه های سلولی استفاده می کنیم. ابتدا به ازای هر سناریو و هر دوره اعدادی صفر و یک را با طول کروموزوم I\*J ایجاد می کنیم. یک نمونه از نتیجه متغیر تولید شده به صورت زیر خواهد بود:

```
Position.Xp2
```

```
ans =
```

```
[1x6 double]    [1x6 double]    [1x6 double]
[1x6 double]    [1x6 double]    [1x6 double]
```

که به عنوان مثال در سناریوی اول و زمان اول نتیجه به صورت زیر خواهد بود:

```
Position.Xp2{1,1}
```

```
ans =
```

```
1    1    0    0    1    1
```

سپس این متغیر تولیدی را به صورت یک ماتریس با ابعاد I\*J تبدیل می کنیم. در نتیجه خواهیم داشت:

```
Position.Xp
```

```
ans =
```

```
[2x3 double]    [2x3 double]    [2x3 double]
[2x3 double]    [2x3 double]    [2x3 double]
```

که در سناریوی اول و زمان اول نتیجه به صورت زیر خواهد بود:

```
Position.Xp{1,1}
```

```
ans =
```

```
1    1    0
0    1    1
```

پس از تولید متغیر  $X'_{ijts}$  نوبت به تولید متغیر  $Y'_{ijkts}$  میرسد. متغیر  $Y'_{ijkts}$  به نوعی وابسته به متغیر  $X'_{ijts}$  می باشد. چون در صورتی در یک سناریو و در هر زمان محصولی از انبار به خرده فروش ارسال می شود که این محصول در همین سناریو و در همین زمان به انبار ارسال شده باشد. نتیجه این متغیر به صورت زیر می باشد:

```
Position.Yp
```

```
ans =
```

```
{2x1 cell}    {2x1 cell}    {2x1 cell}
{2x1 cell}    {2x1 cell}    {2x1 cell}
```

که نتیجه در سناریوی اول و در زمان اول به صورت زیر به دست آمده است:

```
Position.Yp{1,1}
```

```
ans =
```

```
[2x3 double]
[2x3 double]
```

که سایز هر یک از ابعاد این متغیر تولیدی یک آرایه ی سلولی دیگر به تعداد اندازه خرده فروشان می باشد. همچنین نتیجه در خرده فروش اول به صورت زیر می باشد:

```
Position.Yp{1,1}{1}
```

```
ans =
```

```
1    0    0
0    0    0
```

پس از تعریف این کروموزومها، کروموزوم مربوط به  $X_{ijts}$  تولید شده است. این متغیر در صورتی مقدار میگیرد که متغیر  $X'_{ijts}$  دارای مقدار ۱ باشد. این متغیر یک متغیر صحیح می باشد. برای تولید متغیرهای عدد صحیح ابتدا یک رشته به اندازه طول کروموزوم، اعداد اعشاری در بازه صفر و یک تولید کرده و با استفاده از رابطه زیر آن را به صورت اعداد بزرگتر از صفر و در محدوده  $(x_{min}, x_{max})$  تولید می کنیم:

$$\min(\max(x_{min}, 1 + rand * x_{max}), x_{max})$$

در رابطه بالا rand همان اعداد اعشاری تولید شده در بازه صفر و یک می باشد. داریم:

Position.X2

ans =

در زمان اول داریم:

[1x6 double] [1x6 double] [1x6 double] که در سناریو اول و  
[1x6 double] [1x6 double] [1x6 double]

Position.X2{1,1}

ans =

0.2439 0.8850 0.1813 0.5027 0.7471 0.0389

در نتیجه مقدار این متغیر برابر خواهد بود:

Position.X

ans =

[2x3 double] [2x3 double] [2x3 double]  
[2x3 double] [2x3 double] [2x3 double]

که در سناریو اول و در زمان اول داریم:

Position.X{1,1}

ans =

1220 4426 0  
0 3736 195

و مقدار متغیر  $Y_{ijks}$  برابر خواهد بود با:

Position.Y2{1,1}

ans =

[1x6 double]  
[1x6 double]

که در خرده فروش اول برابر است با:

Position.Y2{1,1}{1}

ans =

0.5523    0.9001    0.1079    0.9647    0.7341    0.0267

9

در نتیجه مقدار متغیر برابر خواهد بود با:

Position.Y{1,1}{1}

ans =

2762                    0                    0  
0                        0                    0

برای انتخاب بهترین جواب‌ها برای تولید مجدد جمعیت جدید باید از روشی استفاده کرد که حتی‌الامکان بهترین جواب را انتخاب کند. در ادامه به چند نمونه از روش‌های انتخاب اشاره می‌شود:

انتخاب تصادفی به وسیله‌ی چرخ رولت، انتخاب مسابقه‌ای، انتخاب جایگزینی نسلی اصلاح شده، انتخاب قطع کسر و ... . شرایط توقف متفاوتی می‌تواند برای یک الگوریتم بکار رود. یک آستانه‌ی از پیش تعیین شده برای مقدار تابع هدف و شرط رسیدن به آن مقدار آستانه، می‌تواند به عنوان شرط خاتمه در نظر گرفته شود، اما با توجه به اینکه الگوریتم‌های بر پایه ژنتیک احتمالی هستند و معمولاً هیچ تضمینی برای رسیدن به آستانه‌ی از پیش تعیین شده وجود ندارد، این شرط ممکن است هیچ‌گاه تأمین نشود. همچنین تکنیک استاندارد برای شرایط توقف الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه وجود ندارد. شرط خاتمه‌ای که برای الگوریتم‌ها در این تحقیق در نظر گرفته شده است رسیدن به تعداد تکرارهای از قبل تعیین شده است.

حل مثال با نرم افزار گمز با استفاده از روش اپسیلون محدودیت مجموعه‌ها و پارامترهای این مسأله به صورت زیر تعریف شده است:  
اندیس‌ها:

- تعداد محصولات: (I=2)
  - تعداد انبارها: (J=3)
  - تعداد خرده فروشان: (K=2)
  - دوره های زمانی: (T=3)
  - تعداد سناریوها: (S=2)
- پارامترها:

جدول شماره (۱): نمایش مقادیر پارامتر V

|      | حجم انبار ۱ | حجم انبار ۲ | حجم انبار ۳ |
|------|-------------|-------------|-------------|
| V(j) | ۱۰۰۰۰۰      | ۱۵۰۰۰۰      | ۱۴۰۰۰۰      |

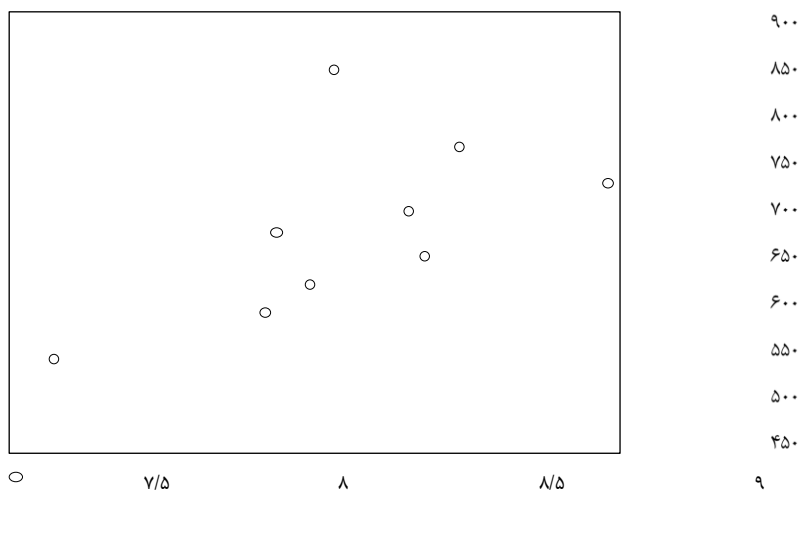
جدول شماره (۲): نمایش مقادیر انتخاب احتمال سناریوها

|                         |                         |         |
|-------------------------|-------------------------|---------|
| احتمال انتخاب سناریوی ۱ | احتمال انتخاب سناریوی ۲ | $\pi_s$ |
| ۰/۴                     | ۰/۶                     |         |

در نهایت جوابهای پارتوی به دست آمده در جدول زیر نشان داده شده است  
جدول شماره (۳): جوابهای به دست آمده از روش اپسیلون محدودیت

| E-Constraint حل با |                    |                 |    |
|--------------------|--------------------|-----------------|----|
| مقدار تابع هدف اول | مقدار تابع هدف دوم | زمان حل (دقیقه) |    |
| ۷۵۰۷۳۴۷            | ۴۸۰                | ۱۵/۲۱           | ۱  |
| ۷۶۱۸۹۴۳/۴          | ۵۴۰                | ۱۵/۳۸           | ۲  |
| ۸۱۹۰۰۹۶/۶          | ۵۷۰                | ۱۶/۰۹           | ۳  |
| ۸۲۸۱۷۹۰۸/۳         | ۶۲۰                | ۱۶/۲۴           | ۴  |
| ۸۵۴۵۹۰۴/۴          | ۶۳۰                | ۱۶/۵۱           | ۵  |
| ۸۲۳۳۶۴۷            | ۶۸۰                | ۱۶/۳۹           | ۶  |
| ۸۹۷۷۸۷۳/۳          | ۷۲۵                | ۱۷/۱۵           | ۷  |
| ۸۵۰۷۵۴۱/۶          | ۷۰۰                | ۱۶/۵۶           | ۸  |
| ۸۶۱۰۵۶۳/۴          | ۷۷۰                | ۱۶/۱۲           | ۹  |
| ۸۳۰۳۶۳۶/۱          | ۸۶۰                | ۱۶/۴۲           | ۱۰ |

نمودار نقاط پارتوی به دست آمده در ادامه آورده شده است:



شکل شماره (۲): نمودار نقاط پارتوی به دست آمده از حل با استفاده از روش اپسیلون محدودیت

برای تنظیم پارامتر از متغیر پاسخ استفاده شده است. این متغیر پاسخ ترکیبی از ۵ معیار ارائه شده می باشد و مقدار آن با استفاده از فرمول زیر محاسبه می شود. با توجه به اینکه معیارها دارای اهمیت یکسانی نیستند، ضرایب وزنی به کار رفته برای آنها را تعیین می کنیم. ضرایب وزنی به کار رفته در جدول ۴ نشان داده شده است.

$$R_i = \frac{w_1 RPD_1 + w_2 RPD_2 + \dots + w_n RPD_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n}$$

جدول شماره (۴) وزن معیارهای ارزیابی برای محاسبه متغیر پاسخ

| وزن معیارهای ارزیابی برای محاسبه متغیر پاسخ |     |     |   |   |          |
|---|-----|-----|---|---|----------|
| معیارها                                     | NPS | MID | S | D | CPU Time |
| وزن ها                                      | ۱   | ۲   | ۲ | ۲ | ۱        |

عوامل و سطوح مربوط به الگوریتم NSGA-II

عوامل و سطح عامل به کار رفته برای الگوریتم NSGA-II را مطابق جدول ۵ تعریف کرده ایم.

جدول شماره (۵): سطوح عامل استفاده شده برای الگوریتم NSGA-II

| سطوح عامل ها |      |     |     |     |
|--------------|------|-----|-----|-----|
|              |      | ۱   | ۲   | ۳   |
| پارامترها    | nPop | ۵۰  | ۱۰۰ | ۱۵۰ |
|              | pc   | ۰/۷ | ۰/۸ | ۰/۹ |
|              | pm   | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۳ |

با مراجعه به جدول استاندارد آرایه‌های متعامد در روش تاگوچی و با استفاده از نرم افزار Minitab، آرایه‌های متعامد  $L9(3^3)$  به عنوان مناسب‌ترین طرح انتخاب می‌شود. آرایه‌های متعامد این طرح در جدول ۶ آمده است.

جدول شماره (۶): آرایه‌های متعامد (L933) برای الگوریتم NSGA-II

| شماره آزمایش | npop | pc | pn |
|--------------|------|----|----|
| ۱            | ۱    | ۱  | ۱  |
| ۲            | ۱    | ۲  | ۲  |
| ۳            | ۱    | ۳  | ۳  |
| ۴            | ۲    | ۱  | ۳  |
| ۵            | ۲    | ۲  | ۲  |
| ۶            | ۲    | ۳  | ۱  |
| ۷            | ۳    | ۱  | ۳  |
| ۸            | ۳    | ۲  | ۱  |
| ۹            | ۳    | ۳  | ۲  |

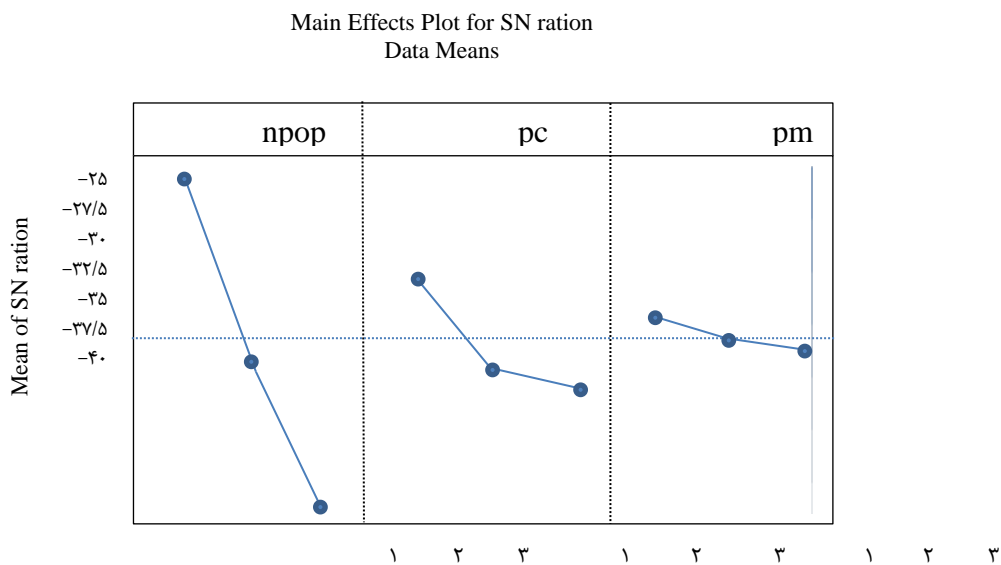
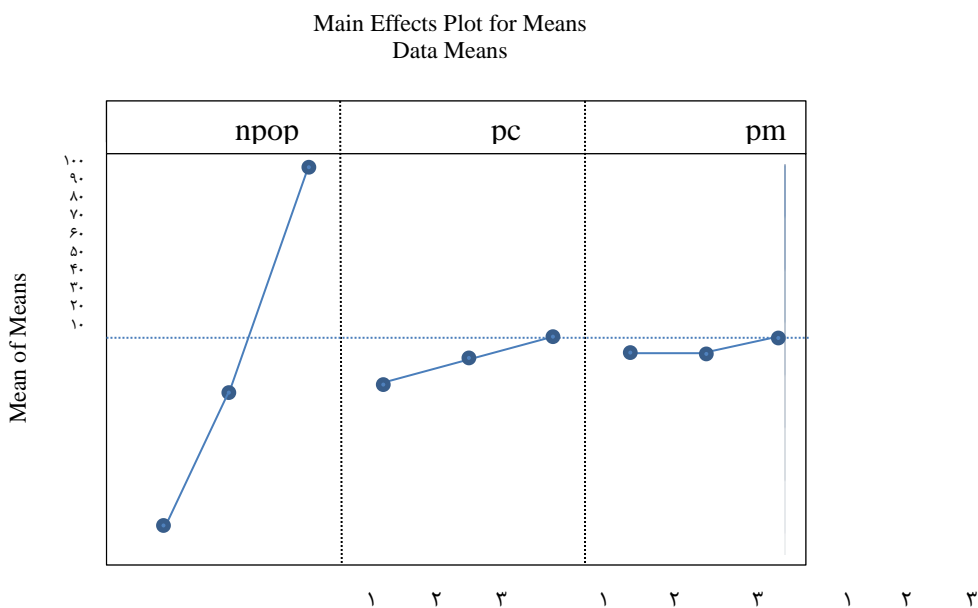
از آنجایی که مقدار  $R_i$  در هر مسأله متفاوت بوده و به طور مستقیم قابل استفاده نمی‌باشد از درصد انحراف نسبی (RPD) برای هر مسأله استفاده می‌شود.

$$RPD = \frac{Alg_{sol} - Min_{sol}}{Min_{sol}} \times 100$$

در رابطه‌ی بالا  $Alg_{sol}$  و  $Min_{sol}$  به ترتیب مقادیر  $R_i$  برای هر تکرار از آزمایش و بهترین حل به دست آمده می‌باشند. بعد از تبدیل مقدار  $R_i$  به RPD، طبق ساختار طراحی پارامتر تاگوچی نسبت S/N بر اساس RPD محاسبه می‌شود. سپس میانگین نسبت S/N آزمایشات برای هر سطح پارامتر محاسبه می‌شود. بهترین مقدار هر پارامتر بیشترین مقدار میانگین S/N را دارد، در واقع سطوح عامل‌هایی بهینه هستند که حداکثر نسبت S/N مورد نظر را نتیجه می‌دهند.

پس از اجرای آزمایش تاگوچی، نتایج متوسط نسبت S/N برای هر سطح از فاکتورها در الگوریتم NSGA-II برای مدل ارائه شده در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین لازم به ذکر است که جدول مقادیر به دست آمده از هر آزمایش و مقادیر RPD در پیوست‌ها آورده شده است.





شکل شماره (۳): نتیجه به دست آمده از آزمایش تاگوچی برای الگوریتم NSGA-II

با توجه به شکلهای بالا، سطح بهینه فاکتورهای nPop, Pc, Pm برای الگوریتم NSGA-II در مدل ارائه شده برابر است با:

جدول شماره (۷): سطوح عامل بهینه برای الگوریتم NSGA-II

|                 | سطوح عامل ها |     |     | سطوح عامل بهینه |
|-----------------|--------------|-----|-----|-----------------|
|                 | ۱            | ۲   | ۳   |                 |
| nPop            | ۵۰           | ۱۰۰ | ۱۵۰ | ۵۰              |
| پارامترها<br>pc | ۰/۷          | ۰/۸ | ۰/۹ | ۰/۷             |
| pm              | ۰/۱          | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۱             |

- این تحقیق با هدف حداقل کردن هزینه‌ها در شرکت اتکا صورت گرفته است؛ به طوریکه مقادیر ارسال از تامین کننده به انبارها و ارسالی از انبارها به خرده فروشان را به نحوی تعیین می کند که هزینه‌ها حداقل ممکن گردد. بنابراین شرکت اتکا می تواند با استفاده از مدل ارائه شده و روش حل تعیین شده به این مهم دست یابد.
- برای مطالعه آتی مربوط مقاله، مطالعه و بررسی موارد زیر پیشنهاد می گردد:
- استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری دیگر برای مقایسه نتایج به دست آمده
  - در نظر گرفتن مساله با اهداف دیگر مانند حداکثر سود یا حداکثر کردن سطح خدمت دهی
  - نزدیک کردن مساله به شرایط واقعی تر با افزودن فرض تخفیفات و کمبود پس افت و فروش از دست رفته به صورت همزمان
  - در نظر گرفتن مساله VRP به منظور انتقال محصولات از تامین کننده به انبارها

#### ۴- منابع

- 1- Berk, E., & Gürlér, Ü. (2008). Analysis of the (Q, r) inventory model for perishables with positive lead times and lost sales. *Operations Research*, 56(5), 1238-1246.
- 2- Chen, L. H., & Kang, F. S. (2007). Integrated vendor-buyer cooperative inventory models with variant permissible delay in payments. *European Journal of Operational Research*, 183(2), 658-673.
- 3- Emmons, H., & Gilbert, S. M. (1997). The role of returns policies in pricing and inventory decisions for catalogue goods. *JOT-Journal für Oberflächentechnik*, 37(5), 276.
- 4- Fries, B. E. (1975). Optimal ordering policy for a perishable commodity with fixed lifetime. *Operations Research*, 23(1), 46-61.
- 5- Fujiwara, O., Soewandi, H., & Sedarage, D. (1997). An optimal ordering and issuing policy for a two-stage inventory system for perishable products. *European Journal of Operational Research*, 99(2), 412-424.
- 6- Giannoccaro, I., & Pontrandolfo, P. (2004). Supply chain coordination by revenue sharing contracts. *International journal of production economics*, 89(2), 131-139.
- 7- Goyal, S. K., & Gupta, Y. P. (1989). Integrated inventory models: the buyer-vendor coordination. *European journal of operational research*, 41(3), 261-269.
- 8- Samrah, S. P., Acharya, D., & Goyal, S. K. (2007). coordination and profit sharing between manufacturer and a buyer with target profit under consideration. *European Journal of Operational Research*, 182(3), 1469-1478.
- 9- Guide Jr, V. D. R., Souza, G. C., Van Wassenhove, L. N., & Blackburn, J. D. (2006). Time value of commercial product returns. *Management Science*, 52(8), 1200-1214.
- 10-Huang, K.-L., Kuo, C.-W., & Lu, M.-L. (2014). Wholesale price rebate vs. capacity expansion: The optimal strategy for seasonal products in a supply chain. *European Journal of Operational Research*, 234, 77-85.
- 11-Hwang, H., & Hahn, K. H. (2000). An optimal procurement policy for items with an inventory level-dependent demand rate and fixed lifetime. *European Journal of Operational Research*, 127(3), 537-545.
- 12-Jaber, M. Y., & Osman, I. H. (2006). Coordinating a two-level supply chain with delay in payments and profit sharing. *Computers & Industrial Engineering*, 50(4), 385-400.
- 13-Kadambala, D. K., Subramanian, N., Tiwari, M. K., Abdulrahman, M., & Liu, C. (2017). Closed loop supply chain networks: Designs for energy and time value efficiency. *International Journal of Production Economics*, 183, 382-393.

- 14-Kanchanasuntorn, K., & Techanitisawad, A. (2006). An approximate periodic model for fixed-life perishable products in a two-echelon inventory–distribution system. *International Journal of Production Economics*, 100(1), 101-115.
- 15-Liu, L., & Lian, Z. (1999). (s,S) model for inventory with fixed lifetime. *Operations Research*, 47(1), 130–158.
- 16-Mirmajlesi, S. R., & Shafaei, R. (2016). An integrated approach to solve a robust forward/reverse supply chain for short lifetime products. *Computers & Industrial Engineering*, 97, 222-239.
- 17-Nahmias, S. (1975). Optimal ordering policies for perishable inventory—II. *Operations Research*, 23(4), 735-749.
- 18-Nandakumar, P., & Morton, T. E. (1993). Near myopic heuristics for the fixed-life perishability problem. *Management Science*, 39(12), 1490-1498.
- 19-Sarathi, G. P., Sarmah, S. P., & Jenamani, M. (2014). An integrated revenue sharing and quantity discounts contract for coordinating a supply chain dealing with short life-cycle products. *Applied Mathematical Modelling*, 38(15), 4120-4136.
- 20-Sazvar, Z., Mirzapour Al-e-Hashem, S. M. J., Baboli, A., & Jokar, M. A. (2014). A bi-objective stochastic programming model for a centralized green supply chain with deteriorating products. *International Journal of Production Economics*, 150, 140-154.
- 21-Simchi-Levi D, Kaminsky P. (2003). *Designing and Managing the Supply Chain*. 2nd Edition, McGraw-Hill.
- 22-Syarif, A., Yun, Y. and Gen, M., (2002). Study on multi-stage logistic chain network: a spanning tree-based genetic algorithm approach. *Computers & Industrial Engineering*, 43(1), pp.299-314.
- 23-Taylor, T. A. (2002). Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects. *Management science*, 48(8), 992-1007.
- 24-Yongrui .D., Jiazhen. H., Yanxia. Z., & Jianjun. Z. (2012). Two level supply chain coordination with delay in payments for fixed lifetime products. *Computers & Industrial Engineering*, 63, 456–463.
- 25-Zahiri, B., Torabi, S. A., Mousazadeh, M., & Mansouri, S. A. (2015). Blood collection management: Methodology and application. *Applied Mathematical Modelling*, 39(23), 7680-7696.

