

طراحی مدل آماد معکوس چند دوره‌ای با مسیرهای متفاوت بازیابی محصول در شرایط عدم قطعیت

ناصر تارین^۱، عادل آذر^{۲*}، سید عباس ابراهیمی^۳

- ۱- کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، موسسه آموزش عالی راهبرد شمال، رشت، ایران
- ۲- استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- ۳- استادیار، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۵

دریافت: ۱۳۹۵/۷/۴

چکیده

آماد معکوس از عمده‌ترین فعالیت‌های مدیریت زنجیره تأمین است که تمام فعالیت‌های فیزیکی مرتبط با محصولات بازگشتی مانند (جمع‌آوری، احیا، بازیافت و انهدام) را در بر می‌گیرد. یک موضوع ضروری برای مدلسازی سیستم‌های آماد معکوس، در نظر گرفتن تعداد بیشتری از گزینه‌های بازیابی و توجه به کیفیت بازگشتی‌ها و همچنین وجود عدم قطعیت، هم در مقدار و هم در کیفیت محصولات بازگشتی است. در این تحقیق، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط فازی دو مرحله‌ای جهت طراحی یک شبکه آماد معکوس یکپارچه چند دوره‌ای و چند محصولی تحت شرایط عدم قطعیت ارائه شده است. هدف نهایی، کمینه‌سازی هزینه کل شبکه است. مدل مورد بحث از نوع مسائل NP-Hard است که در آن، زمان حل مسأله به صورت نمایی افزایش می‌یابد. بنابراین در این تحقیق، از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای حل مدل استفاده شده است.

کلمات کلیدی: آماد معکوس، کیفیت محصولات بازگشتی، عدم قطعیت، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط، الگوریتم ژنتیک

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر توجه به مسائل زیست محیطی، الزامات قانونی و نیز منافع اقتصادی ناشی از فعالیت‌های احیا^۱ و تولید مجدد^۲ (بازتولید) محصول سبب شده است که بسیاری از شرکت‌های مهم، بر اجرای فعالیت‌هایی چون جمع‌آوری، احیا، تولید مجدد و یا بازیافت^۳ محصولاتی که در انتهای زنجیره تأمین سنتی و در پایان عمر مفید خود قرار دارند، تمرکز نمایند و در این زمینه موفقیت‌های قابل توجهی بدست آورند [۱، صص ۸۹۰-۹۰۷، ۲، صص ۵۶-۸۴]. انجمن اجرایی آماد معکوس آمریکا^۴، آماد معکوس را به صورت زیر تعریف کرده است: "آماد معکوس عبارتست از فرایند مؤثر برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل جریان مواد خام، موجودی نیمه‌ساخته، محصولات نهایی و اطلاعات مربوط به آنها، به صورت مؤثر از لحاظ هزینه، از نقطه مصرف به نقطه مبدأ، با هدف خلق مجدد ارزش یا دفع مناسب" [۳، صص ۲۹۹-۳۲۳].

یکی از مهمترین ویژگی‌های جریان معکوس، وجود عدم قطعیت، هم در مقدار و هم در کیفیت محصولات بازگشتی است، که باید هنگام ارائه مدل‌های کمی جریان معکوس مد نظر قرار گیرد [۵، صص ۳۱۸-۳۳۶]. همچنین در بسیاری از مطالعات گذشته، طراحی شبکه‌های آماد مستقیم و معکوس به صورت مجزا صورت گرفته است، که ممکن است منجر به زیربهرینگی^۵ طراحی شود. اما با توجه به این حقیقت که پیکره‌بندی شبکه آماد معکوس، اثر زیادی بر شبکه آماد مستقیم دارد و برعکس؛ بنابراین طراحی شبکه‌های آماد مستقیم و معکوس باید به صورت یکپارچه صورت گیرد [۶، صص ۴۵۵-۴۷۴].

این مقاله به مدلسازی یک شبکه آماد معکوس چند دوره‌ای و چند محصولی پرداخته است که شامل سه خط احیا شامل تعمیر^۶، نوسازی^۷ و تولید مجدد است. خطوط احیا با یک خط تولید رو به جلوی سنتی و یک خط دفع ضایعات، یکپارچه شده‌اند. محصولات بازگشتی جهت تعیین کیفیتشان مورد بررسی قرار می‌گیرند. این

-
1. Recovery
 2. Remanufacturing
 3. Recycling
 4. American Reverse Logistics Executive Council
 5. Sub-optimality
 6. Repair
 7. Refurbishing

محصولات بنا به آستانه‌های کیفیت^۱ تعمیر، نوسازی و تولید مجدد، جهت هدایت به خط‌های تعمیر، نوسازی، تولید مجدد و دفع جداسازی می‌شوند. همچنین در این مقاله از اعداد فازی دوزنقه‌ای^۲ جهت توصیف عدم قطعیت در میزان تقاضا و مقدار محصولات بازگشتی مربوط به یک سطح کیفی خاص استفاده شده است. تأثیرات آستانه‌های مختلف تعمیر، نوسازی و تولید مجدد بر عملکرد شبکه آماد معکوس، مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مرور ادبیات و پیشینه تحقیق

اگرچه محصولات از زمان روزهای آغازین تجارت بازگردانده شده‌اند، اما آماد معکوس توجه علمی را از اوایل دهه ۱۹۹۰ به خود جلب کرده است. در این زمینه در دهه گذشته، مدل‌های گوناگونی گسترش یافته است [۷، صص ۱۴۵-۱۶۰].

اکثر تحقیقات پیشین در ارتباط با آماد معکوس عمدتاً بر روی یکی از گزینه‌های اشاره شده درگیر در شبکه، متمرکز شده‌اند. این گزینه در بسیاری از تحقیقات تولید مجدد است [۸، صص ۷۱-۷۸]. بسته به کیفیت هر محصول برگشتی، ممکن است فعالیت‌های احیای مختلفی روی آن اجرا شود. بنابراین، محصولات برگشتی با کیفیت خیلی پایین می‌بایست احیا یا دفع شوند؛ در حالی که گاهی می‌توان یک محصول برگشتی بسیار باکیفیت را حتی به طور مستقیم مورد استفاده مجدد^۳ قرار داد. این وضعیت ایجاب می‌کند که مسیرهای احیای جایگزینی وجود داشته باشد و کالاهای برگشتی، برحسب کیفیتی که دارند؛ مسیرهای احیای متفاوتی را در پیش بگیرند. با این حال، به ندرت تحقیقی در زمینه رابطه بین کیفیت محصولات برگشتی و بهترین مسیر احیا برای هر یک از آن‌ها انجام شده است [۹].

روش‌ها و رویکردهای بسیاری جهت بررسی کیفیت محصولات بازگشتی و عدم قطعیت ذاتی، پیشنهاد شده‌اند. یکی از روش‌های رایج، مدلسازی کیفیت با استفاده از نرخ بازده احتمالی^۴ است که احتمال احیای کامل و موفق یک محصول تک را مشخص می‌کند. در این روش تنها دو پیامد مدنظر قرار می‌گیرد: یا محصول

1. Quality thresholds
2. Trapezoidal fuzzy numbers
3. Reuse
4. Probabilistic yield rate

بازگشتی احیا می‌شود یا خیر. روش دیگری که برای بررسی کیفیت محصولات بازگشتی پیشنهاد شد، مجموعه‌ای از سطوح کیفی از پیش تعیین شده بود که هزینه‌های دریافت، هزینه‌های بازتولید و زمان‌های انتظار مختلف داشتند. بر اساس این مولفه‌ها، یک سطح کیفی خاص به عنوان سطح کیفی مطلوب برای فعالیت‌های احیا مشخص شد [۱۰، صص ۱۴۳-۱۵۴]. در تحقیق پیش‌رو، مدل ارائه شده توسط [۱۰، صص ۱۴۳-۱۵۴] مورد توجه قرار گرفته است. جهت توسعه مدل مذکور یک مسیر احیای نوسازی به مسیرهای احیای موجود اضافه شد. همچنین از سطوح کیفی بیشتری جهت تفکیک محصولات بازگشتی به مسیرهای احیای مختلف استفاده شد. همچنین مدل توسعه یافته جدید در حالت چند محصولی ارائه گردید.

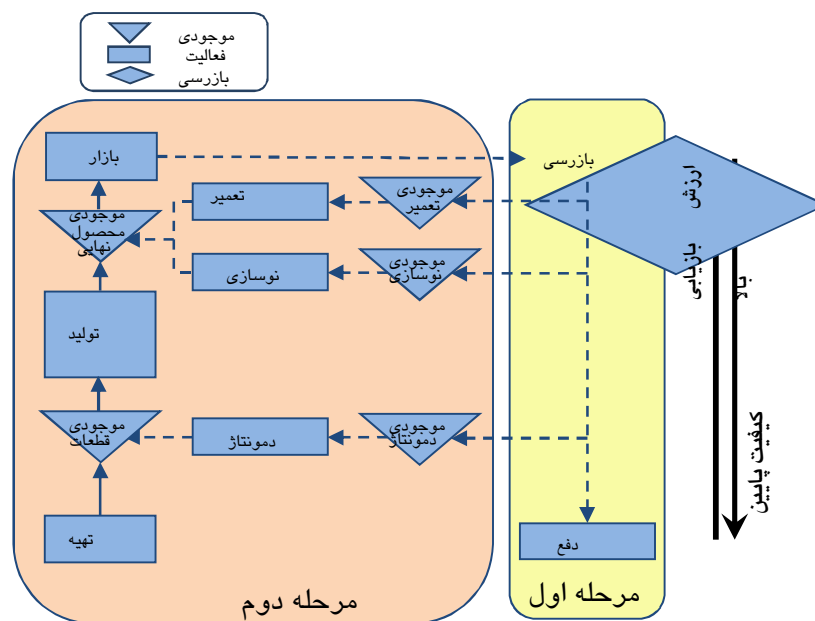
جدول ۱ مرور ادبیات طراحی شبکه آماد معکوس با در نظر گرفتن کیفیت بازگشت

| تعداد مسیر احیا | کیفیت | | عدم قطعیت | | دوره | | محصول | | نوع شبکه | | مرجع | مقاله |
|-----------------|------------|-----------|-----------|---------|------|-----|-------|-----|----------|-------|------|------------------------------|
| | بازده احیا | سطوح کیفی | فازی | احتمالی | تدا | تدا | تدا | تدا | یک‌پارچه | معکوس | | |
| ۱ | * | | * | | * | * | * | * | * | * | [۵] | (Inderfurth, 2005) |
| ۲ | * | | | | * | | | * | * | * | [۱۱] | (Jayaraman, 2006) |
| ۱ | * | | * | | * | | | * | * | * | [۱۲] | (Zikopoulos & Tagaras, 2007) |
| ۱ | * | | | | * | | | * | * | * | [۱۳] | (Aras & Aksen, 2008) |
| ۱ | * | | * | | * | | | * | * | * | [۱۴] | (Mukhopadhyay & Ma, 2009) |
| ۱ | * | | * | | * | | | * | * | * | [۱۵] | (Pishvae et al., 2009) |
| ۱ | * | | * | | * | | | * | * | * | [۱۶] | (Nenes et al., 2010) |
| ۲ | * | | | | * | | | * | * | * | [۱۷] | (Yoo et al., 2012) |
| ۲ | * | | | | * | | | * | * | * | [۱۸] | (Das & Dutta, 2013) |
| ۲ | * | | * | | * | | | * | * | * | [۱۰] | (Niknejad & Petrovic, 2014) |
| ۳ | * | | * | | * | | * | * | * | * | - | تحقیق حاضر |

۳- تعریف مسأله و مدل‌سازی ریاضی

یک شبکه آماد معکوس که سه خط بازیابی شامل تعمیر، نوسازی و تولید مجدد، یک خط دفع و همچنین یک خط اصلی آماد تولید/پیش‌رو دارد، مورد بررسی قرار گرفته است.

مدل ارائه شده در این تحقیق به صورت چند دوره‌ای، چند محصولی و تک‌هدفه است و دارای زمان‌های انتظار مختلف در شبکه آماد معکوس می‌باشد. برای نشان دادن عدم قطعیت در مقدار تقاضا، مقدار بازگشت و همچنین در کیفیت محصولات بازگشتی، از اعداد فازی دوزنقه‌ای استفاده شده است. آستانه‌های کیفی که خطوط احیای محصولات بازگشتی را مشخص می‌کنند، در این مدل به کار گرفته شده است. همچنین یک الگوریتم بهینه‌سازی عدد صحیح مختلط دو مرحله‌ای جهت ارائه راه حلی برای مسئله کنترل موجودی و برنامه‌ریزی محصول شکل داده شده است. یک افق زمانی، متشکل از ۸ دوره تولیدی برای شبکه آماد مذکور در نظر گرفته شده است. شبکه آماد معکوس توسعه‌یافته در این تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است. در مدل مذکور، شبکه آماد معکوس به دو زیرشبکه تقسیم گردید که در دو مرحله مورد توجه قرار گرفته است.



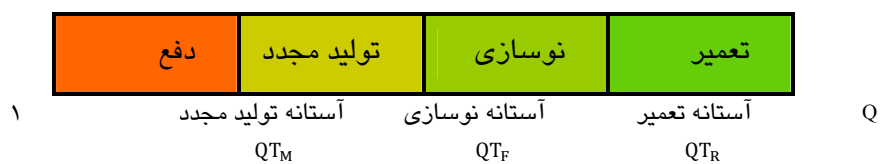
شکل ۱ شبکه آماد معکوس یکپارچه - توسعه یافته مدل [۱۰، صص ۱۴۳-۱۵۴]

مرحله اول، امر بازرسی و دفع را در نظر می‌گیرد، در حالی که مرحله دوم، باقی شبکه، یعنی موجودی تعمیر و دمونتاز و فعالیت‌های مربوط به آنها را مدنظر دارد. همچنین مسیر رو به جلو شامل تهیه، موجودی قطعات، تولید و موجودی محصولات نهایی می‌شود. مفروضات زیر در این باره شکل گرفته اند:

- شبکه پویاست؛ فعالیت‌های تولید و احیا، زمان‌های انتظار مختلفی دارند.
- هر محصول فقط می‌تواند وارد یک خط احیا شود.
- هر محصول دارای یک قطعه قابل احیای تک است.
- محصولات احیا شده به خوبی اجناس نو و جدید در نظر گرفته شده است.
- محصولات بازگشتی به ترتیب ورودشان بازرسی می‌شوند.

۳-۱- مرحله اول

جهت تعیین خط مناسب احیا یا دفع، مرحله اول، از آستانه‌های کیفی برای جداسازی محصولات بازگشتی به محصولات قابل دفع، قابل بازتولید، قابل تعمیر و قابل نوسازی استفاده می‌کند. سطوح کیفی تعیین شده برای محصولات بازگشتی، پس از بازرسی، گسسته و دارای ارزش قطعی از ۱ تا Q هستند. به طوری که ۱ پایین‌ترین سطح کیفی و Q بالاترین سطح کیفی را نشان می‌دهد. سه آستانه شامل آستانه‌های تولید مجدد، نوسازی و تعمیر، طیف کیفیت را به چهار گروه کیفی تقسیم می‌کنند: محصولاتی با قابلیت تعمیر، نوسازی، تولید مجدد و دفع.



شکل ۲ آستانه‌های کیفی

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، فرض بر این است که آستانه‌ها از پیش تعیین شده‌اند. نمادهای زیر جهت انجام محاسبات در مرحله اول در جدول‌های ۲، ۳ و ۴ ارائه گردیده است.

جدول ۲ مجموعه‌ها و شاخص‌ها

| | |
|----------------------------|----------------------|
| T | تعداد دوره‌های زمانی |
| Q | تعداد سطوح کیفی |
| J | نوع محصول |
| $t \in \{1, 2, \dots, T\}$ | شاخص دوره زمانی |
| $q \in \{1, 2, \dots, Q\}$ | شاخص سطح کیفی |
| $j \in \{1, 2, \dots, J\}$ | شاخص نوع محصول |

جدول ۳ مولفه‌های مرحله اول مدل

| | |
|---------------------|---|
| $\bar{BI}(t, q, j)$ | مقدار فازی محصولات بازگشتی نوع z در دوره t در سطح کیفی q، مشخص شده به عنوان تابع عضویت نوزنقه‌ای ($\underline{BI}(t, q, j), BI_L(t, q, j), BI_U(t, q, j), \bar{BI}(t, q, j)$) |
| $C_R(q, j)$ | هزینه واحد تعمیر محصولات نوع z، دارای سطح کیفی q |
| $C_F(q, j)$ | هزینه واحد نوسازی محصولات نوع z، دارای سطح کیفی q |
| $C_M(q, j)$ | هزینه واحد دمونتاز محصولات نوع z، دارای سطح کیفی q |
| $C_G(j)$ | هزینه واحد دفع محصولات نوع z، دارای سطح کیفی q |
| QT_R | آستانه کیفیت برای محصولات بازگشتی قابل قبول برای تعمیر |
| QT_F | آستانه کیفیت برای محصولات بازگشتی قابل قبول برای نوسازی |
| QT_M | آستانه کیفیت برای محصولات بازگشتی قابل قبول برای تولید مجدد |

جدول ۴ متغیرهای مرحله اول مدل

| |
|---|
| $\widetilde{B}'_R(t, q, j)$ تعداد فازی محصولات بررسی شده نوع z در سطح کیفی q ، جهت ارسال به خط تعمیر در دوره t ، مشخص شده به عنوان تابع عضویت نوزنقه‌ای $(\underline{B}'_R(t, q, j), B'_{RL}(t, q, j), B'_{RU}(t, q, j), \overline{B}'_R(t, q, j))$ |
| $\widetilde{B}'_F(t, q, j)$ تعداد فازی محصولات بررسی شده نوع z در سطح کیفی q ، جهت ارسال به خط نوسازی در دوره t ، مشخص شده به عنوان تابع عضویت نوزنقه‌ای $(\underline{B}'_F(t, q, j), B'_{FL}(t, q, j), B'_{FU}(t, q, j), \overline{B}'_F(t, q, j))$ |
| $\widetilde{B}'_M(t, q, j)$ تعداد فازی محصولات بررسی شده نوع z در سطح کیفی q ، جهت ارسال به خط دمونتاژ در دوره t ، مشخص شده به عنوان تابع عضویت نوزنقه‌ای $(\underline{B}'_M(t, q, j), B'_{ML}(t, q, j), B'_{MU}(t, q, j), \overline{B}'_M(t, q, j))$ |
| $\widetilde{B}_R(t, j)$ تعداد فازی کل محصولات بررسی شده نوع z ، جهت ارسال به خط تعمیر در دوره t ، مشخص شده به عنوان تابع عضویت نوزنقه‌ای $(\underline{B}_R(t, j), B_{RL}(t, j), B_{RU}(t, j), \overline{B}_R(t, j))$ |
| $\widetilde{B}_F(t, j)$ تعداد فازی کل محصولات بررسی شده نوع z ، جهت ارسال به خط نوسازی در دوره t ، مشخص شده به عنوان تابع عضویت نوزنقه‌ای $(\underline{B}_F(t, j), B_{FL}(t, j), B_{FU}(t, j), \overline{B}_F(t, j))$ |
| $\widetilde{B}_M(t, j)$ تعداد فازی کل محصولات بررسی شده نوع z ، جهت ارسال به خط بازتولید در دوره t ، مشخص شده به عنوان تابع عضویت نوزنقه‌ای $(\underline{B}_M(t, j), B_{ML}(t, j), B_{MU}(t, j), \overline{B}_M(t, j))$ |
| $\widetilde{B}_G(t, j)$ تعداد فازی محصولات بررسی شده نوع z ، جهت ارسال به خط دفع در دوره t ، مشخص شده به عنوان تابع عضویت نوزنقه‌ای $(\underline{B}_G(t, j), B_{GL}(t, j), B_{GU}(t, j), \overline{B}_G(t, j))$ |
| $C_{avg,R}(j)$ میانگین هزینه تعمیر هر محصول نوع z ، با توجه به کیفیت‌های مختلف محصولات بازگشتی |
| $C_{avg,F}(j)$ میانگین هزینه نوسازی هر محصول نوع z ، با توجه به کیفیت‌های مختلف محصولات بازگشتی |
| $C_{avg,M}(j)$ میانگین هزینه دمونتاژ هر محصول نوع z ، با توجه به کیفیت‌های مختلف محصولات بازگشتی |

فرمول‌های زیر برای تعیین مقادیر فازی در مرحله اول مورد استفاده قرار گرفته است.

$$\widetilde{B}'_R(t, q, j) = \begin{cases} \widetilde{B}I(t, q, j) & QT_R \leq q \leq Q \quad \text{اگر } q \in \{1, 2, \dots, Q\} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$\widetilde{B}'_F(t, q, j) = \begin{cases} \widetilde{B}I(t, q, j) & QT_F \leq q < QT_R \quad \text{اگر } q \in \{1, 2, \dots, Q\} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$\widetilde{B}'_M(t, q, j) = \begin{cases} \widetilde{B}I(t, q, j) & QT_M \leq q < QT_F \text{ اگر } q \in \{1, 2, \dots, Q\} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$\widetilde{B}_R(t, j) = \sum_{q=1}^Q \widetilde{B}'_R(t, q, j) \quad \widetilde{B}_F(t, j) = \sum_{q=1}^Q \widetilde{B}'_F(t, q, j)$$

$$\widetilde{B}_M(t, j) = \sum_{q=1}^Q \widetilde{B}'_M(t, q, j) \quad \widetilde{B}_G(t, j) = \sum_{q=1}^{QT_M-1} \widetilde{B}I(t, q, j)$$

مقادیر فازی محصولات بازگشتی مورد نظر برای فعالیت‌های تعمیر، نوسازی، تولید مجدد، هزینه‌های زیر را دربر دارد:

$$C_{\text{avg,R}}(j) = \frac{\sum_{q=1}^Q C_R(q, j) \sum_{t=1}^T \text{Defuzz}(\widetilde{B}'_R(t, q, j))}{\sum_{q=1}^Q \sum_{t=1}^T \text{Defuzz}(\widetilde{B}'_R(t, q, j))}$$

$$C_{\text{avg,F}}(j) = \frac{\sum_{q=1}^Q C_F(q, j) \sum_{t=1}^T \text{Defuzz}(\widetilde{B}'_F(t, q, j))}{\sum_{q=1}^Q \sum_{t=1}^T \text{Defuzz}(\widetilde{B}'_F(t, q, j))}$$

$$C_{\text{avg,M}}(j) = \frac{\sum_{q=1}^Q C_M(q, j) \sum_{t=1}^T \text{Defuzz}(\widetilde{B}'_M(t, q, j))}{\sum_{q=1}^Q \sum_{t=1}^T \text{Defuzz}(\widetilde{B}'_M(t, q, j))}$$

۲-۳- مرحله دوم

مقادیر بازگشت فازی کیفیت‌های مختلف، ورودی‌های مرحله دوم هستند که مقادیر فازی محصولات را برای ارسال به تعمیر، نوسازی، تولید مجدد و دفع محاسبه می‌کنند. مدل بهینه‌سازی مرحله دوم با استفاده از مقادیر محاسبه شده در مرحله اول و مقدار تقاضای فازی، مقادیر مورد نیاز برای تعمیر، دمونتاز، تهیه قطعات جدید و محصولات نهایی را در هر دوره زمانی در داخل افق زمانی تعیین می‌کند. مجموعه‌ها و شاخص‌های مورد استفاده در مرحله دوم مدل، همان مجموعه‌ها و شاخص‌های مورد استفاده در مرحله اول هستند. در زیر مولفه‌ها و متغیرهای مورد استفاده در مرحله دوم مدل در جدول‌های ۵ و ۶ تعریف شده‌اند.

جدول ۵ مولفه‌های مرحله دوم مدل

| | |
|-------------------|---|
| $\bar{D}(t, j)$ | تعداد فازی تقاضای محصول نوع z در دوره t با تابع عضویت دوزنقه ای ($B_F(t, j), B_{FL}(t, j), B_{FU}(t, j), \bar{B}_F(t, j)$) |
| $LT_C(i)$ | زمان انتظار تهیه محصول z |
| $LT_P(j)$ | زمان انتظار تولید محصول z |
| $LT_R(i)$ | زمان انتظار تعمیر محصول z |
| $LT_F(i)$ | زمان انتظار نوسازی محصول z |
| $LT_M(j)$ | زمان انتظار دمونتاز محصول z |
| $\bar{B}_R(t, j)$ | تعداد فازی کل محصولات بررسی شده نوع z ، جهت ارسال به خط تعمیر در دوره t (محاسبه شده در مرحله اول) |
| $\bar{B}_F(t, j)$ | تعداد فازی کل محصولات بررسی شده نوع z ، جهت ارسال به خط نوسازی در دوره t (محاسبه شده در مرحله اول) |
| $\bar{B}_M(t, j)$ | تعداد فازی کل محصولات بررسی شده نوع z ، جهت ارسال به خط بازتولید در دوره t (محاسبه شده در مرحله اول) |
| $\bar{B}_G(t, j)$ | تعداد فازی محصولات بررسی شده نوع z ، جهت ارسال به خط دفع در دوره t (محاسبه شده در مرحله اول) |
| $C_{avg,R}(j)$ | میانگین هزینه تعمیر محصول z ، با توجه به کیفیت‌های مختلف محصولات بازگشتی (محاسبه شده در مرحله اول) |
| $C_{avg,F}(j)$ | میانگین هزینه نوسازی محصول z ، با توجه به کیفیت‌های مختلف محصولات بازگشتی (محاسبه شده در مرحله اول) |
| $C_{avg,M}(j)$ | میانگین هزینه دمونتاز محصول z ، با توجه به کیفیت‌های مختلف محصولات بازگشتی (محاسبه شده در مرحله اول) |
| $h_S(j)$ | هزینه‌های واحد نگهداری محصولات نهایی نوع z در ازای هر دوره زمانی |
| $h_C(i)$ | هزینه‌های واحد نگهداری قطعات محصول نوع z در ازای هر دوره زمانی |
| $h_R(i)$ | هزینه‌های واحد نگهداری تعمیر محصول نوع z در ازای هر دوره زمانی |
| $h_F(j)$ | هزینه‌های واحد نگهداری نوسازی محصول نوع z در ازای هر دوره زمانی |
| $h_M(j)$ | هزینه‌های واحد نگهداری دمونتاز محصول نوع z در ازای هر دوره زمانی |
| $C_C(i)$ | هزینه واحد تهیه محصول z |
| $C_P(j)$ | هزینه واحد تولید محصول z |
| $C_L(i)$ | هزینه فروش از دست رفته محصول z |

| | |
|-------------|--|
| $f_C(j)$ | هزینه راه اندازی تهیه برای محصول نوع z (هزینه سفارش) |
| $f_P(j)$ | هزینه راه‌اندازی تولید برای محصول نوع z |
| $f_R(j)$ | هزینه راه‌اندازی تعمیر برای محصول نوع z |
| $f_F(j)$ | هزینه راه‌اندازی نوسازی برای محصول نوع z |
| $f_M(j)$ | هزینه راه‌اندازی دمونتاز برای محصول نوع z |
| $H_C(t, j)$ | سطح موجودی قطعات در دوره t برای محصول نوع z |
| $H_S(t, j)$ | سطح موجودی تولیدات نهایی در دوره t برای محصول نوع z |
| $H_R(t, j)$ | سطح موجودی تعمیر در دوره t برای محصول نوع z |
| $H_F(t, j)$ | سطح موجودی نوسازی در دوره t برای محصول نوع z |
| $H_M(t, j)$ | سطح موجودی دمونتاز در دوره t برای محصول نوع z |
| $S(t, j)$ | تعداد مقدار محصولات نهایی، جهت ارسال به بازار در دوره t برای محصول نوع z |

جدول ۶ متغیرهای تصمیم مرحله دوم مدل

| | |
|-------------------|---|
| $CP(t, j)$ | تعداد قطعات مورد نیاز در دوره t برای محصول z |
| $C(t, j)$ | تعداد قطعات مورد استفاده در تولید در دوره t برای محصول z |
| $R(t, j)$ | تعداد محصولات حاصل از لیست تعمیر، جهت استفاده در امر تعمیر در دوره t برای محصول z |
| $F(t, j)$ | تعداد محصولات حاصل از لیست نوسازی، جهت استفاده در امر نوسازی در دوره t برای محصول z |
| $M(t, j)$ | تعداد محصولات حاصل از لیست دمونتاز، جهت استفاده در امر دمونتاز در دوره t برای محصول z |
| $\lambda_P(t, j)$ | متغیر صفر-یک جهت تعیین امکان تولید در دوره t برای محصول z |
| $\lambda_C(t, j)$ | متغیر صفر-یک جهت تعیین امکان تامین(تهیه) در دوره t برای محصول z |
| $\lambda_R(t, j)$ | متغیر صفر-یک جهت تعیین امکان تعمیر در دوره t برای محصول z |
| $\lambda_F(t, j)$ | متغیر صفر-یک جهت تعیین امکان نوسازی در دوره t برای محصول z |
| $\lambda_M(t, j)$ | متغیر صفر-یک جهت تعیین امکان دمونتاز در دوره t برای محصول z |

۴-۲-۱- صورت کلی مدل فازی شبکه آماد معکوس

یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط فازی که باعث ایجاد عدم قطعیت هم در مقدار تقاضا و هم در مقدار محصولات برگشتی، جهت ارسال برای خطوط تعمیر، نوسازی و تولید مجدد و دفع می‌گردد، شکل داده شده است.

$$\text{Minimise } \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T [h_R(j)H_R(t,j) + h_M(j)H_M(t,j) + h_S(j)H_S(t,j) + h_C(j)H_C(t,j) + h_F(j)H_F(t,j)] \quad (1) +$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T [C_C(j)CP(t,j) + C_P(j)C(t,j) + C_{\text{avg},R}(j)R(t,j) + C_{\text{avg},M}(j)M(t,j) + C_{\text{avg},F}(j)F(t,j)] \quad (2) +$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T [f_C(j)\lambda_C(t,j) + f_P(j)\lambda_P(t,j) + f_R(j)\lambda_R(t,j) + f_M(j)\lambda_M(t,j) + f_F(j)\lambda_F(t,j)] \quad (3) +$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T C_L(j) (\tilde{D}(t,j) - S(t,j)) \quad (4) +$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T C_G(j) (\tilde{B}_G(t,j)) \quad (5)$$

Subject to:

$$H_R(t,j) - H_R(t-1,j) + R(t,j) = \tilde{B}_R(t,j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T \quad (1)$$

$$H_F(t,j) - H_F(t-1,j) + F(t,j) = \tilde{B}_F(t,j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T \quad (2)$$

$$H_M(t,j) - H_M(t-1,j) + M(t,j) = \tilde{B}_M(t,j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T \quad (3)$$

$$H_C(t,j) = H_C(t-1,j) + CP(t-LT_C(j),j) + M(t-LT_M(j),j) - C(t,j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T \quad (4)$$

$$H_S(t,j) = H_S(t-1,j) + C(t-LT_P(j),j) + R(t-LT_R(j),j) + F(t-LT_F(j),j) - S(t,j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T \quad (5)$$

$$S(t,j) \leq \tilde{D}(t,j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T \quad (6)$$

$$Y\lambda_P(t,j) \geq C(t,j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T \quad (7)$$

$$Y\lambda_C(t,j) \geq CP(t,j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T \quad (8)$$

$$Y\lambda_R(t,j) \geq R(t,j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T \quad (9)$$

$$Y\lambda_F(t, j) \geq F(t, j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T \quad (10)$$

$$Y\lambda_M(t, j) \geq M(t, j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T \quad (11)$$

$$\lambda_P(t, j), \lambda_C(t, j), \lambda_R(t, j), \lambda_F(t, j), \lambda_M(t, j) \in (0, 1); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T \quad (12)$$

$$R(t, j), F(t, j), M(t, j), CP(t, j), C(t, j), H_R(t, j), H_F(t, j), H_M(t, j), H_C(t, j), H_S(t, j) \geq 0; \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T \quad (13)$$

$$C(t, j) = 0, CP(t, j) = 0, R(t, j) = 0, F(t, j) = 0, M(t, j) = 0;$$

$$1 \leq j \leq J, \quad t \leq 0 \quad (14)$$

ورودی‌های این مدل هستند. $H_R(0)$ و $H_F(0), H_M(0), H_C(0), H_S(0)$

تابع هدف مدل، شامل ۵ بخش است: (۱) هزینه‌های نگهداری برای چهار فهرست موجودی در شبکه آماد معکوس، شامل موجودی تعمیر، نوسازی، دمونتاز، محصول نهایی و موجودی قطعات (۲) هزینه‌های تهیه قطعات، تولید، تعمیر، نوسازی و دمونتاز (۳) هزینه‌های راه‌اندازی برای فعالیت‌های مربوطه (۴) هزینه‌های فروش از دست‌رفته و (۵) هزینه دفع.

محدودیت (۱) برای ایجاد تعادل موجودی تعمیر در هر دوره با دوره قبلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سطح موجودی تعمیر در دوره t با در نظر گرفتن سطح موجودی تعمیر در دوره $t-1$ ، تعداد محصولات مورد نیاز برای تعمیر در دوره t و تعداد محصولات بازرسی شده در دوره t جهت ارسال برای تعمیر محاسبه می‌شود. محدودیت‌های (۲) و (۳) شبیه به محدودیت (۱) هستند، با این تفاوت که مربوط به موجودی نوسازی، دمونتاز، قطعات و محصول نهایی می‌باشند. محدودیت (۴) برای ایجاد تعادل موجودی قطعات است. برای ایجاد تعادل، مقدار موجودی قطعات دوره t باید با مجموع مقدار موجودی قطعات در دوره $t-1$ ، تعداد قطعات مورد نیاز در دوره t ، تعداد قطعات حاصل از دمونتاز محصولات در دوره t و کسر مقدار قطعات مورد نیاز برای تولید در دوره t برابر باشد. همچنین لازم است که زمان‌های انتظار برای فعالیت‌های تهیه قطعات و دمونتاز محصولات، مورد توجه قرار گیرد. محدودیت (۵) هم شبیه به محدودیت (۴) است با این تفاوت که برای ایجاد تعادل موجودی محصولات نهایی است. محدودیت (۶) مقدار محصولات ارسالی به بازار را محدود می‌کند، تا با تقاضای فازی برابر بوده یا از آن کمتر باشد. علاوه بر این، محدودیت‌های (۷) تا (۱۱) به کار می‌روند، تا این اطمینان حاصل شود که متغیرهای تصمیم‌گیری صفر و یک، به ترتیب در هر دوره زمانی، برای محصولی که تهیه، تولید، نوسازی، تعمیر و یا دمونتاز شده است، روی عدد یک تنظیم

شود. همچنین عدد بزرگ γ به کار رفته است، تا در صورت وجود تعداد زیاد محصولات، محدودیت‌های مورد نظر برآورده شوند. علاوه بر این، محدودیت (۱۲) متغیرهای تصمیم‌گیری را به صفر یا یک محدود می‌کند، در حالی که محدودیت (۱۳) نشان می‌دهد که متغیرهای دیگر منفی نیستند. در نهایت، محدودیت (۱۴) مقدار تهیه، تولید، نوسازی، تعمیر و دمونتاز را در زمان صفر یا قبل صفر نشان می‌دهد.

۴-۲-۲- قطعی سازی مدل برنامه ریزی فازی

مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط فازی، باید به مدل برنامه ریزی عدد صحیح قطعی^۱ تغییر یابد، تا با استفاده از راه‌حل‌های موجود حل شود. موانع ۱، ۲، ۳ و ۶ طرف‌های راست فازی دارند. بخش چهارم و پنجم تابع هدف نیز شامل یک عبارت فازی است، از این رو تابع هدف نیز فازی است.

رویکردی اصلاح‌شده توسط [۱۹، صص ۳۲۹-۳۷۰] بر اساس مفهوم برنامه ریزی خطی متقارن^۲ فازی پیشنهاد شده است. دلیل اصلی انتخاب این رویکرد، امکان نشان دادن عدم قطعیت به صورت اعداد فازی نوزنقه‌ای، هنگام مدلسازی تابع هدف و محدودیت‌ها در مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی^۳ است که نرم‌افزارهای موجود، به خوبی قادر به حل آن‌ها هستند و تفسیر نتایج آن‌ها آسان است.

Maximize α

Subject to:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T [h_R(j)H_R(t,j) + h_M(j)H_M(t,j) + h_S(j)H_S(t,j) + h_C(j)H_C(t,j) + h_F(j)H_F(t,j)] + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T [C_C(j)CP(t,j) + C_P(j)C(t,j) + C_{avg,R}(j)R(t,j) + C_{avg,M}(j)M(t,j) + C_{avg,F}(j)F(t,j)] + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T [f_C(j)\lambda_C(t,j) + f_P(j)\lambda_P(t,j) + f_R(j)\lambda_R(t,j) + f_M(j)\lambda_M(t,j) + f_F(j)\lambda_F(t,j)] +$$

1. Crisp integer programming

2. Symmetric

3. Mixed integer linear programming (MILP)

$$\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T C_L(j)(\bar{D}(t,j) + (1-\alpha)(D_U(t,j) - \bar{D}(t,j)) - S(t,j)) +$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T C_G(j)[\bar{B}_G(t,j) + (1-\alpha)(B_{GU}(t,j) - \bar{B}_G(t,j))]$$

$$\leq f_{\min} + (1-\alpha)(f_{\max} - f_{\min})$$

$$H_R(t,j) - H_R(t-1,j) + R(t,j) \leq \underline{B}_R(t,j) + (1-\alpha)(B_{RL}(t,j) - \underline{B}_R(t,j))$$

$$+ (1-\alpha)p_R(j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T$$

$$H_R(t,j) - H_R(t-1,j) + R(t,j) \geq \bar{B}_R(t,j) + (1-\alpha)(B_{RU}(t,j) - \bar{B}_R(t,j))$$

$$- (1-\alpha)p'_R(j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T$$

$$H_F(t,j) - H_F(t-1,j) + F(t,j) \leq \underline{B}_F(t,j) + (1-\alpha)(B_{FL}(t,j) - \underline{B}_F(t,j))$$

$$+ (1-\alpha)p_F(j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T$$

$$H_F(t,j) - H_F(t-1,j) + F(t,j) \geq \bar{B}_F(t,j) + (1-\alpha)(B_{FU}(t,j) - \bar{B}_F(t,j))$$

$$- (1-\alpha)p'_F(j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T$$

$$H_M(t,j) - H_M(t-1,j) + M(t,j) \leq \underline{B}_M(t,j) + (1-\alpha)(B_{ML}(t,j) - \underline{B}_M(t,j))$$

$$+ (1-\alpha)p_M(j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T$$

$$H_M(t,j) - H_M(t-1,j) + M(t,j) \geq \bar{B}_M(t,j) + (1-\alpha)(B_{MU}(t,j) - \bar{B}_M(t,j))$$

$$- (1-\alpha)p'_M(j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T$$

$$H_C(t,j) = H_C(t-1,j) + CP(t-LT_C(j),j) + M(t-LT_M(j),j) - C(t,j);$$

$$1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T$$

$$H_S(t,j) = H_S(t-1,j) + C(t-LT_P(j),j) + R(t-LT_R(j),j)$$

$$+ F(t-LT_F(j),j) - S(t,j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T$$

$$S(t,j) \leq \underline{D}(t,j) + (1-\alpha)(\underline{D}_L(t,j) - \underline{D}(t,j)) + (1-\alpha)p_D(j);$$

$$1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T$$

$$Y\lambda_p(t,j) \geq C(t,j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T$$

$$Y\lambda_c(t,j) \geq CP(t,j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T$$

$$Y\lambda_R(t,j) \geq R(t,j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T$$

$$Y\lambda_F(t,j) \geq F(t,j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T$$

$$Y\lambda_M(t, j) \geq M(t, j); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T$$

$$\lambda_P(t, j), \lambda_C(t, j), \lambda_R(t, j), \lambda_F(t, j), \lambda_M(t, j) \in (0, 1); \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T$$

$$R(t, j), F(t, j), M(t, j), CP(t, j), C(t, j), H_R(t, j), H_F(t, j), H_M(t, j), H_C(t, j), H_S(t, j) \geq 0; \quad 1 \leq j \leq J, \quad 1 \leq t \leq T$$

$$C(t, j) = 0, CP(t, j) = 0, R(t, j) = 0, F(t, j) = 0, M(t, j) = 0; \quad 1 \leq j \leq J, \quad t \leq 0$$

در اینجا F_{\max} و F_{\min} به ترتیب بهترین و بدترین تقریب‌های هزینه کل هستند که سطحی آرمانی از تابع هدف را ارائه می‌دهند. برای تعیین F_{\min} مقدار آن برابر صفر در نظر گرفته شد، که نشان دهنده بهترین مقدار هزینه است. برای تعیین F_{\max} ، یک مقدار بسیار بد که نشان دهنده بیشترین هزینه کل برای شبکه است، با توجه به ماهیت مسئله در نظر گرفته شد. این مقدار برابر 10^{15} می باشد. همچنین $p'_M(j)$ ، $p_M(j)$ و $p'_F(j)$ ، $p_F(j)$ و $p'_R(j)$ ، $p_R(j)$ به ترتیب خطاهای مجاز برای مقادیر $\bar{B}_M(t, j)$ ، $\bar{B}_F(t, j)$ و $\bar{B}_R(t, j)$ هستند که ۳۰ درصد میانگین مقدار محصولات بازگشتی را در خطوط مربوط تشکیل می‌دهند. از فرمول‌های زیر جهت محاسبه مقادیر فوق استفاده شده است. همچنین PD خطای مجاز برای D است که به اندازه ۴ درصد مقدار تقاضا در هر دوره، در نظر گرفته شد.

$$p_R(j) = p'_R(j) = 0.30 \left(\frac{1}{T} \left(\text{Deffuz} \left(\bar{B}_R(t, j) \right) \right) \right)$$

$$p_F(j) = p'_F(j) = 0.30 \left(\frac{1}{T} \left(\text{Deffuz} \left(\bar{B}_F(t, j) \right) \right) \right)$$

$$p_M(j) = p'_M(j) = 0.30 \left(\frac{1}{T} \left(\text{Deffuz} \left(\bar{B}_M(t, j) \right) \right) \right)$$

$$PD(j) = 0.04 \left(\text{Deffuz} \bar{D}(t, j) \right)$$

۵- روش پژوهش

از آنجا که مدل شبکه آماد معکوس یکپارچه تشریح شده در این تحقیق، از نوع مسائل NP-Hard است، در ابعاد بزرگ یعنی در حالتی که تعداد تسهیلات موجود در هر سطح از شبکه افزایش می‌یابد، دچار مشکلاتی از قبیل وقت‌گیر بودن، افتادن در نقاط بهینه محلی^۱ و عدم توانایی خروج از آن می‌شود [۶، صص ۴۵۵-۴۷۴]. لذا برای حل آن نمی‌توان از روش‌های دقیق استفاده کرد. محققان برای حل این گونه مسائل، از روش‌های ابتکاری و فراابتکاری^۲ که بر پایه بهینه‌سازی مسائل ترکیبی استوارند، استفاده می‌کنند. در این تحقیق نیز برای حل مسأله مورد نظر از الگوریتم ژنتیک^۳ استفاده شده است که در بخش بعد به تبیین مفهوم و ساختار کلی آن پرداخته شده است.

۶- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک نوعی الگوریتم فراابتکاری است که از آن برای یافتن جواب مسائل بهینه‌سازی استفاده می‌شود. برخلاف دیگر روش‌های بهینه‌سازی، روش‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک نمی‌توانند دستیابی به جواب بهینه یا حتی نزدیک به بهینه را تضمین کنند، اما انعطاف‌پذیری این روش‌ها در زمینه نوع مسائلی که امکان حل آن‌ها با چنین روش‌هایی وجود دارد، بیشتر بوده، معمولاً سریعتر از روش‌های بهینه‌سازی سنتی اجرا می‌شوند، و اغلب اوقات جواب قابل قبولی به دست می‌دهند [۹].

به طور خلاصه، الگوریتم ژنتیک از شش مرحله تشکیل شده است: مقداردهی اولیه، مقدارریابی، گزینش، عملگرهای ژنتیکی شامل تقاطع و جهش، جایگزینی و خاتمه. در مرحله مقداردهی اولیه، چند جواب تصادفی برای ایجاد یک جمعیت اولیه تولید می‌شوند. در هر بار تکرار به منظور محاسبه مقدار تابع برازش به ازای هر جواب، مقدارریابی صورت می‌گیرد. این مقدار در مرحله گزینش و برای مشخص کردن اثرگذاری یا عدم اثرگذاری جواب در نسل بعدی و دفعات استفاده از آن به کار می‌رود. در مرحله بعد، عملگرهای ژنتیکی مختلف روی جواب‌های برگزیده اعمال می‌شوند تا فرزندانها ساخته شوند، سپس مرحله مقدارریابی برای جواب‌های جدید تکرار می‌شود. در مرحله جایگزینی، بر اساس مقادیر تابع برازش به ازای جواب‌های فرزند جدید، برخی از جواب‌ها در جمعیت فعلی با فرزندان جایگزین

1. Local optima
2. Meta-heuristic
3. Genetic algorithm

می‌شوند. این الگوریتم یا با رسیدن به تعداد معینی تکرار خاتمه می‌یابد و یا از تغییرات اندک در مقادیر تابع برازش به ازای بهترین کروموزوم‌ها طی چندین نسل متوالی، به عنوان معیاری برای خاتمه دادن به آن استفاده می‌شود [۹].

۷- یافته‌های تحقیق

یک آزمایش عددی جهت کسب بینش نسبت به رفتار شبکه آماد معکوس مورد نظر صورت گرفت. عملکرد شبکه آماد معکوس با آستانه‌های تعمیر، نوسازی و تولید مجدد بررسی شد. رویه‌های احیا، از طریق آستانه‌های کیفی مختلف تعریف شدند. عملکرد هر کدام از این رویه‌های احیا، با تعیین خروجی‌های مرحله اول و وارد کردن آنها در مرحله دوم (مدل بهینه‌سازی فازی)، محاسبه شد. جزئیات مربوط به مقادیر مولفه‌های مورد استفاده در مدل آماد معکوس یکپارچه مورد نظر، بر مبنای داده‌های استخراج شده از یکی از شرکت‌های لوازم خانگی است و برای دو محصول این شرکت تهیه شده است. لازم به ذکر است که هزینه‌های بازرسی ناچیز در نظر گرفته شده است، به طوری که می‌توان آن را فرایندی فرعی و جزئی در نظر گرفت. هزینه‌های راه‌اندازی فعالیت‌ها مربوط به یک دوره تولید هستند. یک افق زمانی متشکل از هشت دوره تولیدی را در نظر گرفتیم. این نکته قابل ذکر است که تقاضای کل و مقدار کل محصولات بازگشتی در افق زمانی، با عدد فازی نوزنقه‌ای نشان داده شده است. مقدار این عدد برای محصول اول برابر با (۱۴۴۵۰، ۱۴۸۲۵، ۱۵۱۷۵، ۱۵۵۵۰) و برای محصول دوم برابر با (۶۲۳۰، ۶۰۷۰، ۵۹۳۰، ۵۷۷۰) می‌باشد. همچنین مقدار کل محصولات بازگشتی برای محصول اول برابر با (۸۹۲، ۸۰۲، ۷۹۸، ۷۰۸) و برای محصول دوم برابر با (۴۵۰، ۴۰۱، ۳۹۹، ۳۵۰) است. مقادیر قطعی تقاضای کل برای محصول اول و دوم به ترتیب برابر با ۱۵۰۰۰ و ۶۰۰۰ و مقادیر قطعی محصولات بازگشتی برای محصول اول و دوم به ترتیب برابر با ۸۰۰ و ۴۰۰ است. بعلاوه، برای دو دوره اول، مقدار تقاضا صفر است تا به شبکه آماد معکوس این امکان را بدهد که به تقاضاها پاسخ دهد.

۷-۱- تحلیل نتایج مرحله اول

در آزمایش، تعداد ۲۸۶ سیاست^۱ احیای مختلف $P(Q_{TR}, Q_{TF}, Q_{TM})$ ، از جمله تمامی ترکیبات ممکن آستانه‌های کیفی تعمیر، نوسازی و تولید مجدد، مورد استفاده قرار گرفت. مقدار

1. Policy

بازگشتی فازی محصولات برای هر دوره و برای هر دو محصول، تحت سطوح کیفی مختلف در نظر گرفته شده است. نکته قابل توجه در مورد نحوه برآورد هزینه های خطوط احیاست که شامل تعمیر، نوسازی و تولید مجدد می‌شود. از آنجا که محصولات تحت کیفیت های مختلف، با عدد ۱ برای پایین ترین سطح کیفی و ۱۰ برای بالاترین سطح کیفی، برمی‌گردند، لذا هزینه های مختلفی را برای خطوط احیای مختلف به خود اختصاص می‌دهند. آستانه کیفی تعمیر همیشه از آستانه کیفی نوسازی بزرگتر بوده و یا با آن برابر است. در صورتی که برابر باشد، محصولات بازگشتی در آن کیفیت یا با کیفیت بالاتر، تعمیر می‌شوند و خط نوسازی به کار نمی‌آید. در حالی که باقی محصولات، تولید مجدد یا دفع می‌شوند. همین طور آستانه کیفی نوسازی همیشه از آستانه کیفی تولید مجدد بزرگتر بوده و یا با آن برابر است. علاوه بر این، در صورتی که کیفیت محصولات بازگشتی پایین تر از سطوح کیفی تعیین شده باشد، هیچ یک از خط‌های تعمیر، نوسازی یا تولید مجدد استفاده نمی‌شوند و تمامی محصولات بازگشتی دفع می‌شوند. تعداد فازی و قطعی کل محصولات احیا شده برای ۱۰ سیاست برتر و برای هر دو محصول اول و دوم در جدول های ۷ و ۸ نشان داده شده است.

جدول ۷ مقدار کل بازگشتی محصول اول تحت سیاست‌های احیای مختلف

| شماره | سیاست | تعداد فازی تعمیر | تعداد قطعی تعمیر | تعداد فازی نوسازی | تعداد قطعی نوسازی | تعداد فازی بازتولید | تعداد قطعی بازتولید |
|-------|----------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| ۱۹۹ | p(۱۰.۸۶) | [۷۰.۷۹.۷۹.۸۸] | ۷۹ | [۱۳۷.۱۵۱.۱۵۵.۱۶۹] | ۱۵۳ | [۱۴۶.۱۶۲.۱۶۲.۱۷۸] | ۱۶۲ |
| ۱۸۰ | p(۱۰.۵۵) | [۷۰.۷۹.۷۹.۸۸] | ۷۹ | [۳۵۵.۳۹۳.۳۹۷.۴۳۵] | ۳۹۵ | [۰.۰.۰.۰] | ۰ |
| ۱۴۶ | p(۹.۷۵) | [۱۳۵.۱۴۸.۱۴۸.۱۶۱] | ۱۴۸ | [۱۳۷.۱۵۳.۱۵۷.۱۷۳] | ۱۵۵ | [۱۵۳.۱۷۱.۱۷۱.۱۸۹] | ۱۷۱ |
| ۹۸ | p(۸.۵۴) | [۲۰.۷.۲۳۰.۲۳۴.۲۵۷] | ۲۳۲ | [۲۱۸.۲۴۲.۲۴۲.۲۶۶] | ۲۴۲ | [۶۹.۷۸.۷۸.۸۷] | ۷۸ |
| ۹۳ | p(۸.۴۳) | [۲۰.۷.۲۳۰.۲۳۴.۲۵۷] | ۲۳۲ | [۲۸۷.۳۲۰.۳۲۰.۳۵۳] | ۳۲۰ | [۶۸.۸۲.۸۲.۹۶] | ۸۲ |
| ۴ | p(۲.۲۲) | [۶۳۷.۷۱۷.۷۲۱.۸۰۱] | ۷۱۹ | [۰.۰.۰.۰] | ۰ | [۰.۰.۰.۰] | ۰ |
| ۲۵۹ | p(۱۱.۹۳) | [۰.۰.۰.۰] | ۰ | [۱۳۵.۱۴۸.۱۴۸.۱۶۱] | ۱۴۸ | [۴۲۷.۴۸۴.۴۸۴.۵۴۵] | ۴۸۴ |
| ۱۲۵ | p(۹.۳۲) | [۱۳۵.۱۴۸.۱۴۸.۱۶۱] | ۱۴۸ | [۴۲۷.۴۸۴.۴۸۸.۴۵۴] | ۴۸۶ | [۷۵.۸۵.۸۵.۹۵] | ۸۵ |
| ۱۰۷ | p(۸.۷۲) | [۲۰.۷.۲۳۰.۲۳۴.۲۵۷] | ۲۳۲ | [۶۵.۷۱.۷۱.۷۷] | ۷۱ | [۳۶۵.۴۱۶.۴۱۶.۴۶۷] | ۴۱۶ |
| ۱۸۳ | p(۱۰.۶۳) | [۷۰.۷۹.۷۹.۸۸] | ۷۹ | [۳۵۵.۳۹۳.۳۹۷.۴۳۵] | ۳۹۵ | [۲۰.۹.۲۴۰.۲۴۰.۲۷۱] | ۲۴۰ |

جدول ۸ مقدار کل بازگشتی محصول دوم تحت سیاست‌های احیای مختلف

| شماره | سیاست | تعداد فازی تعمیر | تعداد قطعی تعمیر | تعداد فازی نوسازی | تعداد قطعی نوسازی | تعداد فازی بازتولید | تعداد قطعی بازتولید |
|-------|-----------|--------------------|------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| ۱۹۹ | p(۱۰.۸.۶) | [۳۴.۴۱.۴۱.۴۸] | ۴۱ | [۷۱.۸۱.۸۳.۹۳] | ۸۲ | [۷۰.۷۹.۷۹.۸۸] | ۷۹ |
| ۱۸۰ | p(۱۰.۵.۵) | [۳۴.۴۱.۴۱.۴۸] | ۴۱ | [۱۷۹.۲۰.۱.۲۰.۳.۲۲۵] | ۲۰۲ | [۰.۰.۰.۰] | ۰ |
| ۱۴۶ | p(۹.۷.۵) | [۶۹.۸۱.۸۱.۹۳] | ۸۱ | [۶۷.۷۶.۷۶.۸۵] | ۷۶ | [۷۷.۸۵.۸۵.۹۳] | ۸۵ |
| ۹۸ | p(۸.۵.۴) | [۱۰.۵.۱۲۲.۱۲۴.۱۴۱] | ۱۲۳ | [۱۰.۸.۱۲۰.۱۲۰.۱۳۲] | ۱۲۰ | [۳۳.۳۶.۳۶.۳۹] | ۳۶ |
| ۹۳ | p(۸.۴.۳) | [۱۰.۵.۱۲۲.۱۲۴.۱۴۱] | ۱۲۳ | [۱۴۱.۱۵۶.۱۵۶.۱۷۱] | ۱۵۶ | [۳۵.۴۱.۴۱.۴۷] | ۴۱ |
| ۴ | p(۲.۲.۲) | [۳۱۷.۳۵۹.۳۵۹.۴۰۱] | ۳۵۹ | [۰.۰.۰.۰] | ۰ | [۰.۰.۰.۰] | ۰ |
| ۲۵۹ | p(۱۱.۹.۳) | [۰.۰.۰.۰] | ۰ | [۶۹.۸۱.۸۱.۹۳] | ۸۱ | [۲۱۲.۲۳۸.۲۴۰.۲۶۶] | ۲۳۹ |
| ۱۲۵ | p(۹.۳.۲) | [۶۹.۸۱.۸۱.۹۳] | ۸۱ | [۲۱۲.۲۳۸.۲۴۰.۲۶۶] | ۲۳۹ | [۳۶.۴۰.۴۰.۴۴] | ۴۰ |
| ۱۰۷ | p(۸.۷.۲) | [۱۰.۵.۱۲۲.۱۲۴.۱۴۱] | ۱۲۳ | [۳۱.۳۵.۳۵.۳۹] | ۳۵ | [۱۸۱.۲۰.۲۰.۲.۲۲۳] | ۲۰۲ |
| ۱۸۳ | p(۱۰.۶.۳) | [۳۴.۴۱.۴۱.۴۸] | ۴۱ | [۱۷۹.۲۰.۱.۲۰.۳.۲۲۵] | ۲۰۲ | [۱۰.۶.۱۱۸.۱۱۸.۱۳۰] | ۱۱۸ |

همچنین مقدار هزینه میانگین و هزینه کل فعالیت‌های احیا، برای ۱۰ سیاست برتر و برای هر دو محصول اول و دوم در جدول‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۹ هزینه میانگین و هزینه کل فعالیت‌های احیا برای محصول اول

| شماره | سیاست | تعداد قطعی تعمیر | هزینه میانگین تعمیر | تعداد قطعی نوسازی | هزینه میانگین نوسازی | تعداد قطعی بازتولید | هزینه میانگین دمونتاژ | هزینه کل فعالیت‌های احیا |
|-------|-----------|------------------|---------------------|-------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|
| ۱۹۹ | p(۱۰.۸.۶) | ۷۹ | ۱۰۰۰۰ | ۱۵۳ | ۳۹۵۸۸/۲۳۵۲ | ۱۶۲ | ۴۱۲۳۴/۵۶۷۹ | ۱۳۵۲۶۹۹۹/۹۹ |
| ۱۸۰ | p(۱۰.۵.۵) | ۷۹ | ۱۰۰۰۰ | ۳۹۵ | ۶۵۰۵۰/۶۳۲۹ | ۰ | ۰ | ۲۶۴۸۵۰۰۰ |
| ۱۴۶ | p(۹.۷.۵) | ۱۴۸ | ۲۱۶۵۵/۴۰۵۴ | ۱۵۵ | ۵۰۹۵۴/۸۳۸۷ | ۱۷۱ | ۵۹۳۵۶/۷۲۵۱ | ۲۱۲۵۲۹۹۹/۹۹ |
| ۹۸ | p(۸.۵.۴) | ۲۳۲ | ۳۵۵۳۸/۷۹۳۱ | ۲۴۲ | ۸۱۱۴۸/۷۶۰۳ | ۷۸ | ۹۰۰۰۰ | ۳۴۹۰۲۹۹۹/۹۹ |
| ۹۳ | p(۸.۴.۳) | ۲۳۲ | ۳۵۵۳۸/۷۹۳۱ | ۳۲۰ | ۹۱۸۳۷/۵ | ۸۲ | ۱۱۰۰۰۰ | ۴۶۶۵۳۰۰۰ |
| ۴ | p(۲.۲.۲) | ۷۱۹ | ۱۰۲۳۲۴/۰۶۱۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۷۴۲۸۹۹۹۹/۹۳ |
| ۲۵۹ | p(۱۱.۹.۳) | ۰ | ۰ | ۱۴۸ | ۲۶۰۶۰/۸۱۰۸ | ۴۸۴ | ۶۳۴۵۶/۷۹۰۱ | ۳۴۵۷۰۰۸۶/۴۱ |
| ۱۲۵ | p(۹.۳.۲) | ۱۴۸ | ۲۱۶۵۵/۴۰۵۴ | ۴۸۶ | ۹۱۰۲۴/۶۹۱۳ | ۸۵ | ۱۳۰۰۰۰ | ۵۸۴۹۲۹۹۹/۹۷ |
| ۱۰۷ | p(۸.۷.۲) | ۲۳۲ | ۳۵۵۳۸/۷۹۳۱ | ۷۱ | ۵۸۰۰۰ | ۴۱۶ | ۸۹۵۱۹/۲۳۰۷ | ۴۹۶۰۲۹۹۹/۹۷ |
| ۱۸۳ | p(۱۰.۶.۳) | ۷۹ | ۱۰۰۰۰ | ۳۹۵ | ۵۵۴۱۲/۶۹۸۴ | ۲۴۰ | ۹۰۱۶۶/۶۶۶۶ | ۴۴۳۱۸۰۱۵/۸۵ |

جدول ۱۰ هزینه‌ی میانگین و هزینه کل فعالیت‌های احیا برای محصول دوم

| شماره | سیاست | تعداد قطعی تعمیر | هزینه میانگین تعمیر | تعداد قطعی نوسازی | هزینه میانگین نوسازی | تعداد قطعی بازتولید | هزینه میانگین دمونتاژ | هزینه کل فعالیت‌های احیا |
|-------|-----------|------------------|---------------------|-------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|
| ۱۹۹ | p(۱۰.۸.۶) | ۴۱ | ۱۵۰۰۰ | ۸۲ | ۴۰۶۸۲/۹۲۶۸ | ۷۹ | ۴۴۴۹۳/۶۷۰۸ | ۷۴۶۵۹۹۹/۹۹۱ |
| ۱۸۰ | p(۱۰.۵.۵) | ۴۱ | ۱۵۰۰۰ | ۲۰۲ | ۶۹۴۵۰/۴۹۵۰ | ۰ | ۰ | ۱۴۶۴۳۹۹۹/۹۹ |
| ۱۴۶ | p(۹.۷.۵) | ۸۱ | ۲۷۳۴۵/۶۷۹۰ | ۷۶ | ۵۳۴۵۴/۵۴۵۴ | ۸۵ | ۶۹۶۴۷/۰۵۸۸ | ۱۲۱۹۷۵۴۵/۴۵ |
| ۹۸ | p(۸.۵.۴) | ۱۲۳ | ۴۱۹۱۰/۵۶۹۱ | ۱۲۰ | ۸۹۱۰۸/۳۳۳۳ | ۳۶ | ۱۰۰۰۰۰ | ۱۹۴۴۸۰۰۰ |
| ۹۳ | p(۸.۴.۳) | ۱۲۳ | ۴۱۹۱۰/۵۶۹۱ | ۱۵۶ | ۹۹۶۹۸/۷۱۷۹ | ۴۱ | ۱۲۰۰۰۰ | ۲۵۶۲۷۹۹۹/۹۹ |
| ۴ | p(۲.۲.۲) | ۳۵۹ | ۱۰۹۹۸۶/۱۱۱۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۳۹۴۸۵۰۱۳/۸۸ |
| ۲۵۹ | p(۱۱.۹.۳) | ۰ | ۰ | ۸۱ | ۲۶۴۱۹/۷۵۳۰ | ۲۳۹ | ۶۸۴۷۲/۸۰۳۳ | ۱۸۵۰۴۹۹۹/۹۸ |
| ۱۲۵ | p(۹.۳.۲) | ۸۱ | ۲۷۳۴۵/۶۷۹۰ | ۲۳۹ | ۹۸۳۸۴/۹۳۷۲ | ۴۰ | ۱۴۰۰۰۰ | ۳۱۳۲۸۹۹۹/۹۹ |
| ۱۰۷ | p(۸.۷.۲) | ۱۲۳ | ۴۱۹۱۰/۵۶۹۱ | ۲۵ | ۶۰۰۰۰ | ۲۰۲ | ۹۹۲۰۷/۹۲۰۷ | ۲۷۲۹۴۹۹۹/۹۸ |
| ۱۸۳ | p(۱۰.۶.۳) | ۴۱ | ۱۵۰۰۰ | ۲۰۲ | ۵۸۳۶۰/۲۴۸۴ | ۱۱۸ | ۱۰۰۰۰۰ | ۲۴۲۰۳۷۷۰/۱۸ |

عملکرد خطوط احیا شامل تعمیر، نوسازی و تولید مجدد تحت تاثیر ۱۰ آستانه کیفی مورد بررسی قرار گرفت. هر کدام از ترکیبات آستانه‌های کیفی به عنوان یک سیاست، نحوه هدایت محصولات بازگشتی را به مسیرهای احیای مختلف مشخص کردند. به عنوان مثال، سیاست شماره ۱۹۹، محصولات بازگشتی دارای سطح کیفی ۶ و بالاتر از آن را که شامل سطح کیفی ۷ می‌شود به خط بازتولید هدایت کرد. آستانه کیفی نوسازی، محصولات بازگشتی دارای سطح کیفی ۸ و ۹ را به خط نوسازی فرستاد. در آخر آستانه کیفی تعمیر که برابر با ۱۰ می‌باشد، تمام محصولات بازگشتی تحت سطح کیفی مربوط را به خط احیای تعمیر هدایت کرد. در نظر گرفتن آستانه کیفی ۱۱ برای تعمیر در سیاست شماره ۲۵۹، بیانگر عدم استفاده از خط مربوط است.

۷-۲- تحلیل نتایج مرحله دوم

عملکرد شبکه آماد معکوس تحت سیاست‌های احیای مختلف، شامل α (درجه رضایت به دست آمده در بهینه‌سازی فازی)، هزینه کل (هزینه‌های نگهداری موجودی، هزینه فعالیت‌های تولید و احیا، هزینه راه‌اندازی فعالیت‌ها، هزینه فروش از دست‌رفته و هزینه دفع) برای هر دو محصول اول و دوم، به ترتیب در جدول‌های ۱۱ و ۱۲ آورده شده است.

جدول ۱۱ مقدار هزینه کل و میانگین، تحت سیاست‌های مختلف برای محصول اول

| هزینه میانگین | هزینه کل | | | | | α | سیاست | شماره |
|---------------|-------------|------------------|------------|-------------------------|----------------|----------|-----------|-------|
| | دفع | فروش از دست رفته | راه اندازی | فعالیت‌های تولید و احیا | نگهداری موجودی | | | |
| ۱۳۹۰۱۱۰۴/۰۷ | ۱۳۹۹۸۶۴۹۳/۴ | ۳۲۱۳۰۰۰۰۰ | ۴۱۵۰۰۰۰۰ | $2/0.8(1.0)^{11}$ | ۴۳۷۷۴۵۰۰ | ۰/۷۵۲ | p(۱۰.۸.۶) | ۱۹۹ |
| ۱۵۳۰۰۶۳۱/۹ | ۱۱۲۶۵۴۵۱۹/۴ | ۳۱۹۲۰۰۰۰۰ | ۲۰۰۰۰۰۰۰ | $2/2.9(1.0)^{11}$ | ۵۷۶۲۴۰۰۰ | ۰/۷۳۵ | p(۱۰.۵.۵) | ۱۸۰ |
| ۱۳۵۹۲۱۵۱/۸۱ | ۱۱۲۷۸۷۳۹۶/۵ | ۵۴۶۰۰۰۰۰۰ | ۵۴۰۰۰۰۰۰۰ | $1/9.8(1.0)^{11}$ | ۵۴۳۰۸۸۹۸۰۰ | ۰/۷۴۵ | p(۹.۷.۵) | ۱۴۶ |
| ۱۶۹۳۳۸۲۵/۸۶ | ۸۵۷۳۰۵۲۸/۱۴ | ۳۱۷۱۰۰۰۰۰۰ | ۴۱۰۰۰۰۰۰۰ | $2/5.2(1.0)^{11}$ | ۲۱۳۵۵۷۴۰۰ | ۰/۷۱۰ | p(۸.۵.۴) | ۹۸ |
| ۱۶۰۹۷۴۵۳/۸ | ۵۶۹۷۱۶۶۱/۴۴ | ۳۱۷۱۰۰۰۰۰۰ | ۴۸۰۰۰۰۰۰۰ | $2/4.1(1.0)^{11}$ | ۶۹۹۱۵۳۰۰ | ۰/۷۱۴ | p(۸.۴.۳) | ۹۳ |
| ۱۵۷۷۳۴۴۶/۱۳ | ۲۷۷۹۸۵۴۴/۶۶ | ۳۱۵۰۰۰۰۰۰۰ | ۱۴۰۰۰۰۰۰۰ | $2/3.6(1.0)^{11}$ | ۸۴۷۴۳۴۰۰ | ۰/۷۲۴ | p(۲.۲.۲) | ۴ |
| ۱۱۱۵۲۵۹۴/۳۷ | ۵۶۹۷۲۱۱۳/۶۳ | ۳۱۹۲۰۰۰۰۰۰ | ۴۴۰۰۰۰۰۰۰ | $1/6.7(1.0)^{11}$ | ۶۸۷۴۳۵۰۰ | ۰/۷۴۳ | p(۱۱.۹.۳) | ۲۵۹ |
| ۱۵۵۷۸۷۲۳/۲ | ۲۷۸۱۱۶۸/۹۸ | ۳۱۵۰۰۰۰۰۰۰ | ۵۲۰۰۰۰۰۰۰ | $2/3.3(1.0)^{11}$ | ۲۲۵۹۷۶۸۰۰ | ۰/۷۴۷ | p(۹.۳.۲) | ۱۲۵ |
| ۱۹۴۹۶۵۰/۹۶۳ | ۲۷۷۸۱۹۵۰/۷۲ | ۳۱۹۲۰۰۰۰۰۰ | ۴۲۰۰۰۰۰۰۰ | $2/8.8(1.0)^{11}$ | ۶۵۷۸۲۵۰۰ | ۰/۷۱۹ | p(۸.۷.۲) | ۱۰۷ |
| ۱۸۹۶۱۴۴۳/۷۴ | ۵۶۷۵۸۴۱۷/۶۷ | ۳۱۷۱۰۰۰۰۰۰ | ۴۸۰۰۰۰۰۰۰ | $2/8.4(1.0)^{11}$ | ۶۹۷۹۷۷۰۰ | ۰/۷۰۹ | p(۱۰.۶.۳) | ۱۸۳ |

جدول ۱۲ مقدار هزینه کل و میانگین، تحت سیاست‌های مختلف برای محصول دوم

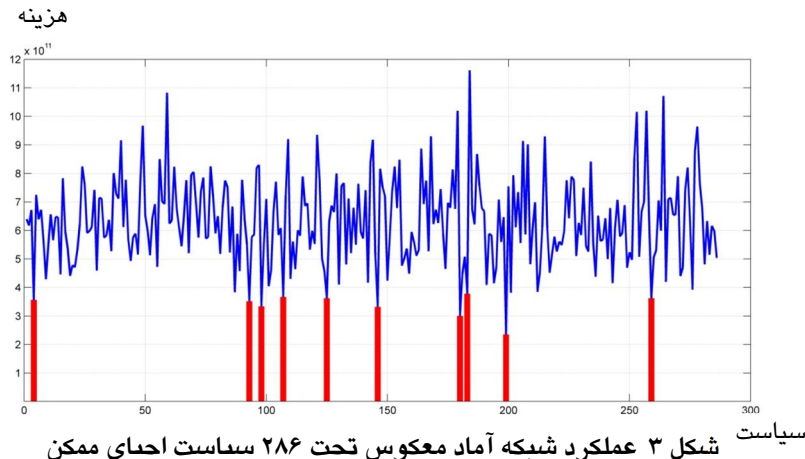
| هزینه میانگین | هزینه کل | | | | | α | سیاست | شماره |
|---------------|------------|------------------|------------|-------------------------|----------------|----------|-----------|-------|
| | دفع | فروش از دست رفته | راه اندازی | فعالیت‌های تولید و احیا | نگهداری موجودی | | | |
| ۴۴۴۴۷۲۲/۴۱۴ | ۶۷۸۲۵۲۸۱/۳ | ۱۷۰۸۰۰۰۰۰۰ | ۱۲۴۰۰۰۰۰۰ | $2/5.9(1.0)^{11}$ | ۴۳۹۷۰۹۲۰۰ | ۰/۷۵۲ | p(۱۰.۸.۶) | ۱۹۹ |
| ۱۱۸۲۶۸۶۶/۸۸ | ۵۴۰۸۹۶۶۰/۲ | ۱۰۳۶۰۰۰۰۰۰ | ۱۳۶۰۰۰۰۰۰۰ | $6/7.7(1.0)^{11}$ | ۲۹۸۴۵۱۱۶۰۰ | ۰/۷۳۵ | p(۱۰.۵.۵) | ۱۸۰ |
| ۲۱۳۹۱۷۹۳/۷۸ | ۵۴۱۵۱۴۶۳/۵ | ۱۶۸۰۰۰۰۰۰۰ | ۱۰۵۰۰۰۰۰۰۰ | $1/2.8(1.0)^{11}$ | ۳۳۶۱۱۲۰۰ | ۰/۷۴۵ | p(۹.۷.۵) | ۱۴۶ |
| ۱۳۳۱۲۱۱۷/۷۱ | ۴۱۹۲۰۲۶۴/۱ | ۱۶۸۰۰۰۰۰۰۰ | ۹۳۰۰۰۰۰۰۰ | $7/9.5(1.0)^{11}$ | ۴۴۷۸۶۰۰۰ | ۰/۷۱۰ | p(۸.۵.۴) | ۹۸ |
| ۱۸۳۸۵۰۶۲/۲۵ | ۲۷۶۷۵۹۱۳/۸ | ۴۲۰۰۰۰۰۰۰۰ | ۱۴۰۰۰۰۰۰۰۰ | $1/0.8(1.0)^{11}$ | ۱۷۰۰۶۹۷۶۰۰ | ۰/۷۱۴ | p(۸.۴.۳) | ۹۳ |
| ۲۰۰۰۷۱۱۸/۶۱ | ۱۴۱۹۸۴۸۱/۳ | ۱۶۲۴۰۰۰۰۰۰ | ۷۰۰۰۰۰۰۰۰۰ | $1/2.0(1.0)^{11}$ | ۱۱۶۱۱۳۲۰۰ | ۰/۷۲۴ | p(۲.۲.۲) | ۴ |
| ۳۲۵۲۸۱۷۹/۳۳ | ۲۷۷۷۵۱۶۲/۵ | ۱۶۸۰۰۰۰۰۰۰ | ۱۲۹۰۰۰۰۰۰۰ | $1/9.4(1.0)^{11}$ | ۷۹۷۵۴۰۸۰۰ | ۰/۷۴۳ | p(۱۱.۹.۳) | ۲۵۹ |
| ۲۱۴۶۶۶۲۶/۶۲ | ۱۴۲۴۹۳۱۸/۳ | ۱۶۵۲۰۰۰۰۰۰ | ۱۲۵۵۰۰۰۰۰۰ | $1/2.8(1.0)^{11}$ | ۲۸۴۸۱۰۴۰۰ | ۰/۷۴۷ | p(۹.۳.۲) | ۱۲۵ |
| ۵۶۲۵۱۶۹۶/۳۴ | ۱۴۱۸۶۸۶۵/۵ | ۱۶۸۰۰۰۰۰۰۰ | ۱۲۶۰۰۰۰۰۰۰ | $3/3.7(1.0)^{11}$ | ۹۱۹۹۱۲۰۰ | ۰/۷۱۹ | p(۸.۷.۲) | ۱۰۷ |
| ۱۵۵۸۳۴۱۸ | ۲۷۶۵۷۶۲۹/۷ | ۱۶۸۰۰۰۰۰۰۰ | ۹۶۵۰۰۰۰۰۰ | $9/3.2(1.0)^{11}$ | ۵۵۳۵۰۴۰۰ | ۰/۷۰۹ | p(۱۰.۶.۳) | ۱۸۳ |

هزینه میانگین واحد محصول، به عنوان میانگین هزینه هر سیاست احیا برای هر یک از دو محصول، به طور مجزا در دو جدول ۶ و ۷ نشان داده شد. هزینه مذکور از طریق تقسیم هزینه کل بر میزان کل تقاضای موجود در افق زمانی برای هر یک از دو محصول اول و دوم محاسبه شده است. کمترین و بیشترین هزینه میانگین برای محصول اول، به ترتیب به سیاست های شماره‌ی ۱۹۹ و ۴ اختصاص یافت. همچنین برای محصول دوم نیز همین سیاست‌ها به ترتیب، کمترین و بیشترین مقدار هزینه را به خود اختصاص دادند. در جدول ۱۳، ترتیب سیاست‌ها از نظر کمترین هزینه کل برای شبکه آماد معکوس مورد نظر، نشان داده شده است.

جدول ۱۳ مقدار هزینه کل شبکه آماد معکوس

| رتبه | شماره | سیاست | هزینه کل |
|------|-------|-----------|------------------|
| ۱ | ۱۹۹ | p(۱۰.۸.۶) | ۲۳۵۱۸۴۸۹۵۴۷۴/۷۰ |
| ۲ | ۱۸۰ | p(۱۰.۵.۵) | ۳۰۰۴۷۰۶۷۹۷۷۹/۶۰ |
| ۳ | ۱۴۶ | p(۹.۷.۵) | ۳۳۲۲۳۳۰۳۹۸۶۰/۱۰۰ |
| ۴ | ۹۸ | p(۸.۵.۴) | ۳۳۳۸۱۰۰۹۴۱۹۲/۲۴ |
| ۵ | ۹۳ | p(۸.۴.۳) | ۳۵۱۷۷۲۱۸۰۴۷۵/۲۴ |
| ۶ | ۴ | p(۲.۲.۲) | ۳۵۶۶۴۴۲۵۳۶۲۵/۹۶ |
| ۷ | ۲۵۹ | p(۱۱.۹.۳) | ۳۶۳۴۶۱۲۳۱۵۷۶/۱۳ |
| ۸ | ۱۲۵ | p(۹.۳.۲) | ۳۶۳۴۸۰۶۰۷۶۸۷/۲۸ |
| ۹ | ۱۰۷ | p(۸.۷.۲) | ۳۶۶۷۵۴۹۴۲۵۱۶/۲۲ |
| ۱۰ | ۱۸۳ | p(۱۰.۶.۳) | ۳۷۷۹۲۲۱۶۴۱۴۷/۳۷ |

شکل ۳، عملکرد شبکه آماد معکوس مورد نظر را تحت تمامی ۲۸۶ سیاست احیای ممکن نشان می‌دهد. ۱۰ سیاست برتر از نظر هزینه کل نیز از میان ۲۸۶ سیاست با علامت قرمز مشخص شده اند.



شکل ۳ عملکرد شبکه آماد معکوس تحت ۲۸۶ سیاست احیای ممکن

۸- نتیجه‌گیری

خلاصه نتایج آزمایشات عددی انجام شده نشان داد که انتخاب خط‌های احیای مورد استفاده در شبکه، تأثیر زیادی بر عملکرد شبکه آماد معکوس دارد. همچنین مولفه‌های شبکه آماد معکوس شامل مقدار بازگشت، هزینه‌های واحد تعمیر، هزینه‌های واحد نوسازی، هزینه‌های واحد تولید، هزینه‌های راه‌اندازی و هزینه‌های دفع، تأثیر زیادی بر انتخاب سناریوهای احیای بهینه دارند. در موارد بسیار شدید، مقدار کمی از بازگشت محصولات، می‌تواند مسئله احیا را به امری پرهزینه تبدیل نماید، چرا که تهیه محصولات از طریق خط رو به جلو، که شامل تأمین قطعات و تولید می‌شود، لازم و ضروری به نظر می‌رسد. همچنین مقدار زیاد بازگشت محصول می‌تواند ضرورت استفاده از خط رو به جلو را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. هزینه تولید زمانی اعمال می‌شود که محصول نهایی، از قطعات جدید، یا از قطعات دمونتاز شده در یکی از خطوط احیا حاصل شود. بنابراین، هزینه واحد تولید، هم بر هزینه خط احیا و هم خط رو به جلو یا مستقیم، تأثیرگذار است. در صورت وجود هزینه‌های بالای راه‌اندازی، برآوردن تمامی نیازها و تقاضاها مقرون به صرفه نیست. از این رو هزینه‌های فروش از دست‌رفته افزایش می‌یابد. هزینه واحد دفع، تأثیر چشمگیری بر شبکه آماد معکوس دارد. هزینه بالای واحد دفع می‌تواند امر

احیای محصولات بازگشتی را پر اهمیت کند. از سوی دیگر، هزینه‌های پایین واحد دفع، از مطلوبیت امر احیا می‌کاهد.

هزینه‌های خطوط احیا بر تصمیمات شبکه آماد معکوس، جهت انتخاب خطوط مورد نیاز برای تهیه محصولات تأثیرگذار است. به عنوان مثال هرگونه تغییر در هزینه‌های واحد تعمیر، می‌تواند انتخاب گزینه دیگری (نوسازی یا تولید مجدد) را برای احیای محصولات یک سطح کیفی خاص، پر اهمیت‌تر و یا کم اهمیت‌تر سازد. همچنین این تغییر می‌تواند روی انتخاب خط تولید رو به جلو جهت تهیه محصولات تأثیرگذار باشد. در مورد سایر هزینه‌های مرتبط با گزینه‌های نوسازی و تولید مجدد نیز همینطور است.

در پایان قابل ذکر است در ادامه این پژوهش و به منظور توسعه و ارتقاء مدل حاضر، به سایر محققین پیشنهاد می‌شود تا روی ارائه مدلی برای تعیین آستانه‌های کیفی خط‌های تعمیر، نوسازی و تولید مجدد در مرحله اول کار کنند. همچنین ارائه یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه که نه تنها فقط کاهش هزینه‌ها را در نظر می‌گیرد، بلکه اهداف محیطی را نیز مورد توجه قرار دهد پیشنهاد دیگری است که می‌تواند مدنظر پژوهشگران قرار گیرد.

۹- منابع

- [1] Uster H., Easwaran G., Akcali E., Cetinkaya S. (2007) "Benders decomposition with alternative multiple cuts for a multi-product closed-loop supply chain network design model"; *Naval Research Logistics*, 54(8): 890-907.
- [2] Meade L., Sarkis J., Presley A. (2007) "The theory and practice of reverse logistics"; *International Journal of Logistics Systems and Management*, 3(1): 56-84.
- [3] Lu Z., Bostel N. (2007) "A facility location model for logistics systems including reverse flows: the case of remanufacturing activities"; *Computers & Operations Research*, 34(2): 299-323.

- [4] Lee J., Gen M., Rhee K. (2009) "Network model and optimization of reverse logistics by hybrid genetic algorithm"; *Computers & Industrial Engineering*, 56(3): 951-964.
- [5] Inderfurth K. (2005) "Impact of uncertainties on recovery behavior in a remanufacturing environment: a numerical analysis"; *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35(5): 318-336.
- [6] Lee D., Dong M. (2008) "A heuristic approach to logistics network design for end of lease computer products recovery"; *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(3): 455-474.
- [7] Sepehri, Jafarie. (2003) "A solution to timely supply of required components of production systems by using mathematical model and Ant algorithm"; *Journal of Faculty of Engineering*, 38(1): 145-160.
- [8] Zhou Y. Wang S. (2008) "Generic model of reverse logistics network design" *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*,(8): 71-78.
- [9] Niknejad A. (2014) "*Quantitative decision making in reverse logistics networks with uncertainty and quality of returns considerations*"; Unpublished PhD Thesis, Coventry: Coventry University.
- [10] Niknegad A., Petrovic D. (2014) "Optimisation of integrated reverse logistics networks with different product recovery routes"; *European Journal of Operational Research*, 238(1): 143-154.
- [11] Jayaraman V. (2006) "Production planning for closed-loop supply chains with product recovery and reuse: an analytical approach"; *International Journal of Production Research*, 44(5): 981-998.
- [12] Zikopoulos C., Tagaras G. (2007) "Impact of uncertainty in the quality of returns on the profitability of a single-period refurbishing operation"; *European Journal of Operational Research*, 182(1): 205-225.
- [13] Aras N., Aksen D. (2008) "Locating collection centers for distance and incentive dependent returns"; *International Journal of Production Economics*, 111(2), 316-333.

- [14] Mukhopadhyay S. K., Ma H. (2009) "Joint procurement and production decisions in remanufacturing under quality and demand uncertainty"; *International Journal of Production Economics*, 120(1), 5-17.
- [15] Pishvae M. S., Jolai F., Razmi J. (2009) "A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design"; *Journal of Manufacturing Systems*, 28(4), 107-114.
- [16] Nenes G., Panagiotidou S., Dekker R. (2010) "Inventory control policies for inspection and remanufacturing of returns: a case study"; *International Journal of Production Economics*, 125(2), 300-312.
- [17] Yoo S. H., Kim D., Park M. S. (2012) "Lot sizing and quality investment with quality cost analyses for imperfect production and inspection processes with commercial return"; *International Journal of Production Economics*, 140(2), 922-933.
- [18] Das D., Dutta P. (2013) "A system dynamics framework for integrated reverse supply chain with three way recovery and product exchange policy"; *Computers & Industrial Engineering*, 66(4), 720-733.
- [19] Zimmermann H. J. (2001) "Decision Making in Fuzzy Environments"; In *Fuzzy set theory and its applications*, Netherland: Springer: 329-370.