مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال چهاردهم، شماره اول (پیاپی ۵۲)، بهار ۹۶، ص ص ۱۵۶-۱۳۷
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

طراحی شبکه لجستیک معکوس یکپارچه با در نظر گرفتن کیفیت محصولات بازگشتی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

ناصر تارین[۱]، عادل آذر*[۲]، سید عباس ابراهیمی[۳]
۱- کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی راهبرد شمال، گروه مدیریت صنعتی، رشت، ایران
۲- استاد، دانشگاه تربیت مدرس، گروه مدیریت و اقتصاد، تهران، ایران
۳- استادیار، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

رسید مقاله: ۱۶ مهر ۱۳۹۵
پذیرش مقاله: ۱۲ اسفند ۱۳۹۵

چکیده
در بسیاری از صنایع، تولیدکنندگان به دلایل گوناگون، مجبور به جمع‌آوری محصولات استفاده شده توسط مشتریان هستند. سپس با توجه به وضعیت محصول برگشتی، تصمیم مناسب جهت پردازش مورد نیاز بر روی محصول گرفته می‌شود. در این مقاله به مساله کنترل موجودی و بهینه‌سازی برنامه‌ریزی محصول در محیط لجستیک معکوس یکپارچه پرداخته شده است. شبکه لجستیک مورد نظر از دو مرحله تشکیل شده است. در مرحله اول محصولات برگشتی با استفاده از آستانه‌های کیفی تعریف شده، جهت تفکیک و ارسال به خطوط مناسب احیا و یا دفع، تحت بازرسی کیفی قرار می‌گیرند. در مرحله دوم با در اختیار داشتن مقادیر ارسالی به خط‌های مختلف، یک الگوریتم بهینه‌سازی عدد صحیح مختل (MILP) جهت کاهش هزینه‌های کل شبکه شکل داده شده است. مدل مورد نظر با در نظرگرفتن کمینه‌سازی هزینه‌ها، از نوع مسایل NP-Hard است که در آن، زمان حل مساله به صورت نمایی افزایش می‌یابد. بنابراین در این تحقیق، از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای حل مدل استفاده شده است.

کلمات کلیدی: لجستیک معکوس، کیفیت محصولات بازگشتی، کنترل موجودی، الگوریتم بهینه‌سازی عدد صحیح مختلط، الگوریتم ژنتیک.

۱ مقدمه
در گذشته، بخش عمده فعالیت‌های مدیریت زنجیره تامین به عملیات تولید و توزیع و به عبارت دیگر، جریان مستقیم زنجیره، متشکل از تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع کنندگان، خرده‌فروشان و مشتریان معطوف بوده است [۱]. در دهه‌های اخیر، توجه به مسایل زیست محیطی، الزامات قانونی و نیز منافع اقتصادی ناشی از فعالیت‌های احیای محصول، سبب شده است که بسیاری از شرکت‌های مهم بر اجرای فعالیت‌هایی چون

* عهده دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: Azara@tarbiatmodares.ac.ir

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

جمع‌آوری[1]، احیا، تولید مجدد[2] و یا بازیافت[3] محصولاتی که در انتهای زنجیره تامین سنتی و در پایان عمر مفید خود قرار دارند، تمرکز کنند و در این زمینه موفقیت‌های قابل توجهی به دست آورند [۳و۲]. احیای محصول، نیاز به مواد دست اول، مصرف انرژی و فضای لازم برای انهدام محصولات را کاهش می‌دهد؛ بنابراین از دیدگاه تجاری، این سیستم‌ها سهم قابل توجهی در افزایش سودآوری سازمان دارند [۴]. بهینه نمودن عملکرد این زنجیره تامین توسعه‌یافته، مستلزم ایجاد زیرساخت‌های کارا و اثربخشی از طریق طراحی شبکه بهینه است. به همین دلیل طراحی شبکه لجستیک معکوس[4] برای احیای محصول در دهه گذشته، توجه محققان بسیاری را به خود جلب نموده است [۱].

به طور کلی لجستیک معکوس (RL) را می توان به عنوان فرآیند حرکت کالا و محصولات از مقصد نهایی معمول خود، جهت اخذ ارزش یا دفع[5] مناسب تعریف کرد [۵]. لجستیک معکوس، فرآیندی است که در آن یک تولیدکننده به صورت سیستماتیک، محصولات یا قطعاتی را که قبلا جهت مصرف برای مشتری ارسال شده است؛ در صورت امکان بازیافت، تولید مجدد یا دفع، دوباره جمع‌آوری می‌کند. یک سیستم لجستیک معکوس، یک زنجیره تامین بازطراحی شده است که با استفاده موثر از منابع، جریان محصولات یا قطعات را به سوی مقاصد تعمیر[6]، بازیافت یا دفع مدیریت می‌کند [۶].

مسئله کیفیت محصولات بازگشتی در بخش مرور ادبیات، از دیدگاه‌های مختلف مطرح شده است. با توجه به این که اکثر مدل‌های شبکه لجستیک معکوس که شامل کیفیت بازگشت می شوند، تنها یک خط احیای مشخص را مدنظر قرار می‌دهند. در این تحیق، یک مدل بهینه‌سازی جدید با چند خط احیا و چند سطح کیفی معرفی شده است. هدف،کاهش هزینه‌های کل شبکه، شامل هزینه نگهداری موجودی‌ها، هزینه‌های تهیه قطعات، تولید، تعمیر، نوسازی، دمونتاژ[7] و همچنین هزینه‌های راه‌اندازی برای فعالیت‌های مربوطه و هزینه فروش از دست رفته و هزینه دفع است.

مدل مذکور، شامل سه خط احیای ممکن شامل تعمیر، نوسازی[8] و تولید مجدد است که با یک خط تولید سنتی و یک خط دفع ضایعات یکپارچه شده‌اند. محصولات بازگشتی جهت تعیین کیفیتشان مورد بررسی قرار می‌گیرند. این محصولات بنا بر آستانه‌های کیفی[9] تعمیر، نوسازی و تولید مجدد، برای هدایت به خط‌های تعمیر، نوسازی و تولید مجدد و دفع جداسازی می‌شوند. تاثیرات آستانه‌های مختلف تعمیر، نوسازی و تولید مجدد بر عملکرد شبکه لجستیک معکوس، مورد بررسی قرار گرفت.

[1] Collection
[2] Remanufacturing
[3] Recycling
[4] Reverse logistic
[5] Disposal
[6] Repair
[7] Disassembly
[8] Refurbishing
[9] Quality thresholds

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

۲ مرور ادبیات

طی چند دهه گذشته، مدل‌های ریاضی بسیاری برای طراحی، توزیع، کنترل موجودی و برنامه ریزی تولید شبکه لجستیک معکوس پیشنهاد شده است [۹و۸]. در اینجا ما تنها به کارهایی پرداخته‌ایم که روی شبکه‌های لجستیک معکوس، با درنظرگرفتن کیفیت محصولات بازگشتی متمرکز شده‌اند. آراس و همکاران [۱۰] یک مدل زنجیره مارکف را جهت نشان دادن اولویت‌بندی محصولات بازگشتی برای احیا، بر اساس کیفیت این محصولات به کار بردند. بهرت و کروگان [۱۱] یک سیستم تولید/تولید مجدد یکپارچه را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در این سیستم، محصولات بازگشتی مورد بررسی قرار گرفت و سپس به سه سطح کیفی بد، متوسط و خوب طبقه بندی شد. همچنین هر سطح توانست با استفاده از تسهیلات احیای مربوط به خود، مطابق با هزینه و زمان احیا شود. جایارامان [۱۲] یک مدل برنامه نویسی خطی، برای برنامه‌ریزی تولید در یک شبکه لجستیک معکوس حلقه‌بسته دارای سطوح کیفی از پیش تعیین شده و زمان‌های انتظار صفر پیشنهاد کرد. علاوه بر این داس و چادوری [۱۳] با توجه به تصمیمات طراحی محصول و ملاحظات کیفی، از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای برنامه‌ریزی محصول شبکه لجستیک معکوس استفاده کردند. ماهاپاترا و همکاران [۱۴] نیز با استفاده از مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی، تاثیر کیفیت ناهمگن مقدار بازگشتی و ناهماهنگی در مقادیر بازگشت را در شبکه‌های لجستیک معکوس یکپارچه مورد بررسی قرار دادند. به همین ترتیب و در همین راستا، ننس و نیکولایدیس [۱۵] یک مدل چند دوره‌ای، بر پایه برنامه ریزی عدد صحیح مختلط خطی پیشنهاد دادند، که دارای تقاضا و مقادیر برگشتی قطعی بود. آن‌ها چنین فرض کردند که مراکز جمع‌آوری طرف سوم، دارای دسته‌هایی از محصولات بازگشتی در دسترس هستند، که ممکن است توسط تسهیلات احیا جهت دریافت، انتخاب شده یا رد شوند. علاوه بر این، مدل مذکور، گزینه استفاده از بخش معینی از دسته‌های مورد نیاز را دارا بود. در این مدل، مقدار محصولات متعلق به یک سطح کیفی خاص برای هر دسته مشخص بود. همچنین داس و دوتا [۱۶] از سیستم پویا در یک شبکه معکوس یکپارچه استفاده کردند که سه گزینه احیا داشت: تعمیر، تولید مجدد و بازیافت. کیفیت بازگشت به عنوان درصد ثابتی از محصولات قابل احیا مدلسازی شد. با این حال، شبیه‌سازی رفتار شبکه با استفاده از یک روش معمول، بدون هزینه های راه‌اندازی[1]، نقطه تمرکز این کار بود. علاوه بر این، گو وهمکاران [۱۷] شبکه ای با دو خط احیا شامل دمونتاژ و تعمیر پیشنهاد دادند. هر خط پاسخگوی تقاضای مجزایی بود. عدم اطمینان با استفاده از پارامترهای تصادفی مورد توجه قرار گرفت؛ اما به کیفیت بازگشت، تغییرات در مقدار تقاضا و بازگشت محصولات، هزینه های راه‌اندازی و زمان‌های انتظار[2] توجه نشد. گالبرت و بلکبرن [۱۸] به شکلی دیگر، امکان استفاده از یک سطح آستانه کیفی را جهت تعیین محصولاتی که برای فعالیت احیا قابل قبول بودند، بررسی کردند. هزینه‌های تولید مجدد، تابعی پیوسته از کیفیت فرض شد. آستانه کیفیت قابل قبول و نرخ بازگشت کل، به نحوی که هزینه‌های تهیه و تولید مجدد را در یک دوره زمانی کمینه کنند، تعیین شد.

[1] Setup costs
[2] Lead times

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

اکثر مدل‌های شبکه معکوس که شامل کیفیت بازگشت می شود، تنها یک خط احیای مشخص را مدنظر قرار داده است [۱۳] و [۱۵]. گاید و همکاران [۱۹] یک شبکه احیا با گزینه‌های تعمیر و نوسازی، تقاضای قطعی و نرخ بازده[1] ساده را بر اساس مدل کیفیت، ارایه دادند. به همین صورت میترا [۲۰] یک شبکه احیای تک دوره‌ای را با تولید مجدد و نوسازی، بدون عدم اطمینان[2] و زمان انتظار صفر مورد بررسی قرار داد.

در این تحقیق یک مدل بهینه‌سازی جدید با چند خط احیا شامل تعمیر، نوسازی و تولید مجدد، چند سطح کیفی، چند محصولی و چند دوره‌ای معرفی شده است که دارای زمان‌های انتظار مختلف در شبکه لجستیک معکوس است. آستانه‌های کیفی که خط احیای محصولات بازگشتی را مشخص می‌کنند در این مدل به کار گرفته شده است.

۳ تعریف و مدلسازی ریاضی مساله

این تحقیق به دنبال طراحی یک شبکه لجستیک معکوس، با چند مسیر جهت احیا (بازیابی) شامل تعمیر، نوسازی و تولید مجدد و یک خط دفع می‌باشد،که با یک خط تولید رو به جلوی سنتی یکپارچه شده است.

امر تعمیر، فعالیت‌هایی را شامل می‌شود که برای ترمیم محصول آسیب دیده همراه با حفظ ساختار اصلی آن ضروری به نظر می‌رسند. در مقابل، تولید مجدد (بازتولید)، شامل دمونتاژ، جایگزینی اجزای لازم و مونتاژ محصول است تا به شرایط خوب اولیه برسد [۲۱]. هدف از نوسازی، بالابردن کیفیت محصولات استفاده شده به یک سطح مشخص می‌باشد، به طوری که استانداردهای کیفی در این سطح کم‌تر از محصولات جدید می‌باشد [۲۲].

مدل ارایه شده در این تحقیق به صورت چند دوره‌ای، چند محصولی و تک هدفه می‌باشد. این مدل، دارای زمان‌های انتظار مختلف در شبکه لجستیک معکوس و قطعیت در مقدار تقاضا، بازگشت و کیفیت بازگشت است. آستانه‌های کیفی که خط احیای محصولات بازگشتی را مشخص می‌کنند، در این مدل به کار می‌روند. همچنین یک الگوریتم بهینه‌سازی عدد صحیح مختلط دو مرحله‌ای، جهت ارایه راه حلی برای مساله کنترل موجودی و برنامه‌ریزی محصول شکل داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، در مدل پیشنهاد شده، شبکه لجستیک معکوس به دو زیرشبکه تقسیم می‌شود که در دو مرحله مورد توجه قرار می‌گیرد. مرحله ۱، امر بازرسی[3] و دفع را در نظر می‌گیرد؛ درحالی که مرحله ۲ باقی شبکه یعنی موجودی تعمیر، نوسازی و دمونتاژ و فعالیت‌های مربوط به آن‌ها را مدنظر دارد، همچنین مسیر پیشرو شامل تهیه، موجودی قطعات، تولید و موجودی محصولات نهایی می‌شود.

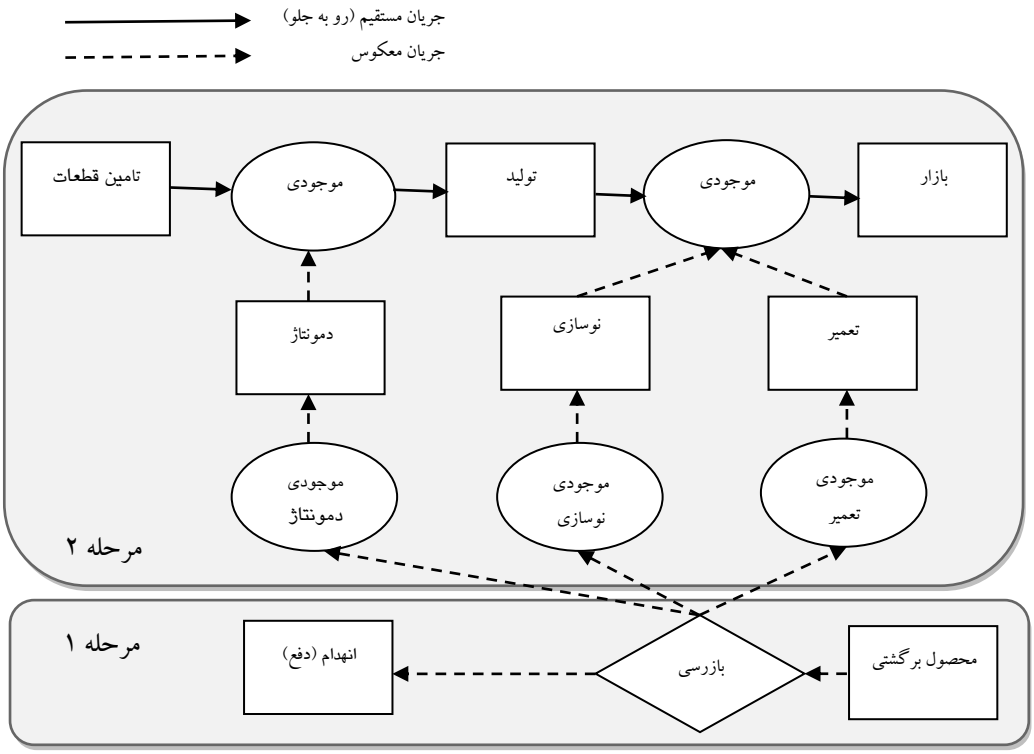
خط تولید مجدد شامل دمونتاژ محصولات بازگشتی، موجودی قطعات دمونتاژشده درقسمت موجودی تجهیزات و سپس تولید می‌شود. هم محصولات تعمیر شده و نوسازی شده و هم محصولات تولید مجددشده در

[1] Yield rate
[2] Uncertainty
[3] Inspection

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

بخش موجودی نهایی انبار می‌شود. بازرسی کیفی که برای هر یک از محصولات بازگشتی صورت می‌گیرد، خط مناسب بازگشت را تعیین می‌کند. علاوه براین، انبار محصولات نهایی از طریق خط تولید استاندارد رو به جلو که از قطعات جدید خریداری شده استفاده می‌کند، دوباره پر می‌شود.



شکل ۱. شبکه لجستیک معکوس یکپارچه

کارآیی اقتصادی خط‌های احیا به کیفیت محصولات بازگشتی بستگی دارد. معمولا، تعمیر برای محصولاتی کارآیی بیش‌تری دارد که کیفیت نسبتا خوبی دارند و نوسازی برای محصولات با کیفیت پایین‌تر به کار می‌آید؛ درحالی که بازتولید برای محصولات آسیب دیده / ناقص مناسب‌تر است [۲۱]. یک سطح کیفی ترتیبی برای یک محصول بازگشتی انتخاب می‌شود که به هزینه‌های تعمیر، نوسازی و بازتولید متفاوت می‌انجامد. سطح کیفیت بالاتر باعث هزینه‌های کم‌تر تعمیر، نوسازی و بازتولید می‌شود. مفروضات زیر در این باره شکل گرفته اند:

- شبکه پویاست. فعالیت‌های تولید و احیا، زمان‌های انتظار مختلفی دارند.
- هر محصول تنها می تواند وارد یک مسیر جهت احیا شود (نمی توان هم‌زمان یک محصول را هم جهت تعمیر به خط تعمیر و هم جهت نوسازی یا تولید مجدد به خطوط مربوط فرستاد.)
- محصولات احیاء شده، هم تعمیر و هم نوسازی و هم بازتولید شده را به خوبی اجناس نو و جدید در نظر می گیریم.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

- محصولات بازگشتی را به ترتیب ورود آن‌ها بررسی می کنیم (یعنی این امکان وجود ندارد که بررسی برخی محصولات را زودتر از باقی محصولات انجام دهیم.)

نمادهای به کار گرفته شده در مدل ریاضی ارایه شده برای شبکه لجستیک معکوس مورد بررسی و تعریف آن‌ها در جداول ۱ و ۲ و ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱. نمادهای مورد استفاده در مرحله اول

T	تعداد دوره‌های زمانی در داخل افق زمانی
Q	تعداد سطوح کیفی
J	نوع محصول
$t \in \{1,2,...,T\}$	شاخص دوره زمانی
$q \in \{1,2,...,Q\}$	شاخص سطح کیفی
$j \in \{1,2,...,J\}$	شاخص نوع محصول
$BI(t,q,j)$	مقدار محصولات بازگشتی نوع jدر دوره t در سطح کیفی q
$C_R(q,j)$	هزینه واحد تعمیر محصولات نوع jدارای سطح کیفی q
$C_F(q,j)$	هزینه واحد نوسازی محصولات نوع jدارای سطح کیفی q
$C_M(q,j)$	هزینه واحد دمونتاژ محصولات نوع jدارای سطح کیفی q
$C_{G(J)}$	هزینه واحد دفع محصولات نوع j
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
$B'_R(t,q,j)$	مقدار محصولات بررسی شده نوع jدر سطح کیفی q، جهت ارسال به خط تعمیر در دوره t
$B_R(t,j)$	مقدار کل محصولات بررسی شده نوع j، جهت ارسال به خط تعمیر در زمان t
$B'_F(t,q,j)$	مقدار محصولات بررسی شده نوع jدر سطح کیفی q، جهت ارسال به خط نوسازی در دوره t
$B_F(t,j)$	مقدار کل محصولات بررسی شده نوع j، جهت ارسال به خط نوسازی در دوره‌ی t
$B'_M(t,q,j)$	مقدار محصولات بررسی شده نوع jدر سطح کیفی q، جهت ارسال به خط بازتولید در دوره‌ی t
$B_M(t,j)$	مقدار کل محصولات بررسی شده نوع j، جهت ارسال به خط تولید مجدد در زمان t
$B_G(t,j)$	مقدار محصولات بررسی شده نوع j، جهت ارسال به خط دفع در زمان t
$C_{avg.R}(j)$	میانگین هزینه تعمیر هر محصول نوع j با توجه به کیفیت‌های مختلف محصولات بازگشتی
$C_{avg.F}(j)$	میانگین هزینه نوسازی هر محصول نوع j با توجه به کیفیت‌های مختلف محصولات بازگشتی
$C_{avg.M}(j)$	میانگین هزینه دمونتاژ هر محصول نوع j با توجه به کیفیت‌های مختلف محصولات بازگشتی

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

۳-۱ مرحله اول

در این مدل، فرض بر این است که تمامی محصولات بازگشتی به محض رسیدن مورد بررسی قرار می‌گیرند. جهت تعیین خط مناسب احیا یا انهدام، مرحله اول از آستانه‌های کیفی برای تفکیک محصولات بازگشتی به محصولات قابل انهدام، قابل بازتولید، قابل تعمیر و قابل نوسازی استفاده می‌کند. موارد مذکور در جدول ۱ مورد استفاده قرار می‌گیرند. 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.

همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، چنین فرض می‌شود که آستانه‌ها از پیش تعیین شده‌اند.

شکل ۲. آستانه‌های کیفی

فرمول‌های زیر برای تعیین مقادیر قطعی در مرحله اول مورد استفاده قرار گرفته است:

$$B'_R(t,q,j)=\begin{cases} BI(t,q,j) & \text{اگر } Q_{TR}\le q\le Q \\ \circ & \text{اگر نیست} \end{cases}$$

$$B'_F(t,q,j)=\begin{cases} BI(t,q,j) & \text{اگر } Q_{TF}\le q\prec QT_R \\ \circ & \text{اگر نیست} \end{cases}$$

$$B'_M(t,q,j)=\begin{cases} BI(t,q,j) & \text{اگر } Q_{TM}\le q\prec QT_F \\ \circ & \text{اگر نیست} \end{cases}$$

$$B_R(t,j)=\sum_{q=1}^{Q} B'_R(t,q,j)$$
$$B_F(t,j)=\sum_{q=1}^{Q} B'_F(t,q,j)$$
$$B_M(t,j)=\sum_{q=1}^{Q} B'_M(t,q,j)$$
$$B_G(t,j)=\sum_{q=1}^{QT_M-1} BI(t,q,j)$$

مقادیر قطعی محصولات بازگشتی مورد نظر برای تعمیر، نوسازی و تولید مجدد، هزینه‌های زیر را در بر دارد:

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

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

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

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

۳-۲ مرحله دوم

مقادیر محصولات بازگشتی تحت کیفیت‌های مختلف، ورودی‌های مرحله ۱ هستند، که مقادیر محصولات را برای ارسال به تعمیر، نوسازی، بازتولید و دفع (انهدام)، محاسبه می‌کنند. مدل بهینه‌سازی مرحله ۲، با استفاده از مقادیر محاسبه شده در مرحله ۱ و تقاضای موجود، مقادیر مورد نیاز برای تعمیر، دمونتاژ و تهیه قطعات جدید و محصولات نهایی را در هر دوره زمانی در داخل افق زمانی، تعیین می‌کند. یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط، جهت بهینه‌سازی شبکه لجستیک معکوس مورد نظر پیشنهاد شده است. موارد مذکور در جداول ۲ و ۳ مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جدول ۲. نمادهای مورد استفاده در مرحله دوم

T	تعداد دوره‌های زمانی در افق زمانی
Q	تعداد سطوح کیفی
J	نوع محصول
$t \in \{1,2,...,T\}$	شاخص دوره‌ی زمانی
$q \in \{1,2,...,Q\}$	شاخص سطح کیفی
$j \in \{1,2,...,J\}$	شاخص نوع محصول
$D(t,j)$	مقدار تقاضای محصول نوع j در دوره‌ی t
$B_R(t,j)$	مقدار محصولات ارسالی نوع j برای تعمیر در دوره‌ی t (محاسبه شده در مرحله (۱))
$B_F(t,j)$	مقدار محصولات نوع j، ارسالی برای نوسازی در دوره‌ی t (محاسبه شده در مرحله (۱))
$B_M(t,j)$	مقدار محصولات نوع j، ارسالی برای تولید مجدد در دوره‌ی t (محاسبه شده در مرحله (۱))
$LT_C(j)$	زمان انتظار تهیه محصول j
$LT_P(j)$	زمان انتظار تولید محصول j
$LT_R(j)$	زمان انتظار تعمیر محصول j
$LT_F(j)$	زمان انتظار نوسازی محصول j
$LT_M(j)$	زمان انتظار دمونتاژ محصول j
$h_S(j)$	هزینه‌های واحد نگهداری محصولات نهایی نوع j در ازای هر دوره‌ی زمانی
$H_C(j)$	هزینه‌های واحد نگهداری قطعات محصول نوع j در ازای هر دوره‌ی زمانی

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

$H_R(j)$	هزینه‌های واحد نگهداری تعمیر محصول نوع jدر ازای هر دوره‌ی زمانی
$H_M(j)$	هزینه‌های واحد نگهداری نوسازی محصول نوع jدر ازای هر دوره‌ی زمانی
$C_C(j)$	هزینه‌ی واحد تهیه محصول j
$C_P(j)$	هزینه‌ی واحد تولید محصول j
$C_L(j)$	هزینه‌ی فروش از دست رفته محصول j
$C_{avg.R}(j)$	میانگین هزینه واحد تعمیر محصول jبا توجه به کیفیت‌های مختلف (محاسبه شده در مرحله (۱))
$C_{avg.F}(j)$	میانگین هزینه واحد نوسازی محصول jبا توجه به کیفیت‌های مختلف (محاسبه شده در مرحله (۱))
$C_{avg.M}(j)$	میانگین هزینه واحد دمونتاژ محصول jبا توجه به کیفیت‌های مختلف (محاسبه شده در مرحله (۱))
$f_C(j)$	هزینه راه‌اندازی تهیه برای محصول نوع j(هزینه سفارش)
$f_P(j)$	هزینه راه‌اندازی تولید برای محصول نوع j
$f_R(j)$	هزینه راه‌اندازی تعمیر برای محصول نوع j
$f_F(j)$	هزینه راه‌اندازی نوسازی برای محصول نوع j
$f_M(j)$	هزینه راه‌اندازی دمونتاژ برای محصول نوع j
$H_C(t,j)$	سطح موجودی قطعات در دوره t برای محصول نوع j
$H_S(t,j)$	سطح موجودی تولیدات نهایی در دوره t برای محصول نوع j
$H_R(t,j)$	سطح موجودی تعمیر در دوره t برای محصول نوع j
$H_F(t,j)$	سطح موجودی نوسازی در دوره t برای محصول نوع j
$H_M(t,j)$	سطح موجودی دمونتاژ در دوره t برای محصول نوع j
$S(t,j)$	مقدار محصولات نهایی جهت ارسال به بازار در دوره‌ی t برای محصول نوع j

جدول ۳. متغیرهای تصمیم مورد استفاده در مرحله دوم

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

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

Minimize

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

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

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

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

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

s.t.

$$H_R(t,j)-H_R(t-1,j)+R(t,j)=B_R(t,j);\quad 1\le j\le J,\quad 1\le t\le T \quad (6)$$

$$H_F(t,j)-H_F(t-1,j)+F(t,j)=B_F(t,j);\quad 1\le j\le J,\quad 1\le t\le T \quad (7)$$

$$H_M(t,j)-H_M(t-1,j)+M(t,j)=B_M(t,j);\quad 1\le j\le J,\quad 1\le t\le T \quad (8)$$

$$H_C(t,j)=H_C(t-1,j)+CP(t-LTc(j),j)+M(t-LT_M(j),j)-C(t,j);\quad 1\le j\le J,1\le t\le T \quad (9)$$

$$H_S(t,j)=H_S(t-1,j)+C(t-LT_P(j),j)+R(t-LT_R(j),j)-F(t-LT_F(j),j)-S(t,j);\quad 1\le j\le J,1\le t\le T \quad (10)$$

$$S(t,j)\le D(t,j);\quad 1\le j\le J,\quad 1\le t\le T \quad (11)$$

$$Y\ \lambda_P(t,j)\ge C(t,j);\quad 1\le j\le J,\quad 1\le t\le T \quad (12)$$

$$Y\ \lambda_c(t,j)\ge CP(t,j);\quad 1\le j\le J,\quad 1\le t\le T \quad (13)$$

$$Y\ \lambda_R(t,j)\ge R(t,j);\quad 1\le j\le J,\quad 1\le t\le T \quad (14)$$

$$Y\ \lambda_F(t,j)\ge F(t,j);\quad 1\le j\le J,\quad 1\le t\le T \quad (15)$$

$$Y\ \lambda_M(t,j)\ge M(t,j);\quad 1\le j\le J,\quad 1\le t\le T \quad (16)$$

$$\lambda_P(t,j),\lambda_C(t,j),\lambda_R(t,j),\lambda_F(t,j),\lambda_M(t,j)\in(0.1);\quad 1\le j\le J,\quad 1\le t\le T \quad (17)$$

$$R(t,j),F(t,j),M(t,j),CP(t,j),C(t,j),H_R(t,j),H_F(t,j),H_M(t,j),H_C(t,j),H_S(t,j)\ge 0;\quad 1\le j\le J,1\le t\le T \quad (18)$$

$$C(t,j)=0,CP(t,j)=0,R(t,j)=0,F(t,j)=0,M(t,j)=0;\quad 1\le j\le J,\quad t\le 0 \quad (19)$$

$H_R(0,j),H_F(0,j),H_M(0,j),H_C(0,j),H_S(0,j)$ ورودی‌های این مدل می‌باشند.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

مرحله دوم یک مدل برنامه‌نویسی عدد صحیح مختلط را برای بهینه‌سازی شبکه لجستیک معکوس مدنظر نشان می‌دهد. تابع هدف مدل شامل ۵ بخش است: (۱) هزینه‌های نگهداری برای چهار لیست موجودی در شبکه لجستیک معکوس، شامل موجودی تعمیر، دمونتاژ، محصول نهایی و موجودی قطعات (۲) هزینه‌های تهیه قطعات، تولید، تعمیر و دمونتاژ (۳) هزینه‌های راه‌اندازی برای فعالیت‌های مربوطه (۴) هزینه‌های فروش از دست رفته و (۵) هزینه‌ی انهدام. همچنین مدل مذکور شامل ۱۴ محدودیت می باشد. محدودیت (۶) برای ایجاد تعادل موجودی تعمیر در هر دوره با دوره قبلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سطح موجودی تعمیر در دوره‌ی t با در نظر گرفتن سطح موجودی تعمیر در دوره‌ی ، تعداد محصولات مورد استفاده برای تعمیر در دوره‌ی t و تعداد محصولات بازرسی شده در دوره $t-1$ ، جهت ارسال برای تعمیر محاسبه می‌شود. تعداد محصولات بازرسی‌شده جهت ارسال برای تعمیر، مشخص و قطعی است. محدودیت‌های (۷) تا (۱۰) شبیه به محدودیت (۶) هستند؛ اما مربوط به موجودی نوسازی، دمونتاژ، قطعات و محصول نهایی هستند. محدودیت (۱۱) مقدار محصولات ارسالی به بازار را محدود می‌کند تا با تقاضای قطعی برابر بوده یا از آن کم‌تر باشد. علاوه بر این، محدودیت‌های (۱۲) تا (۱۶) به کار می‌روند تا این اطمینان حاصل شود که متغیرهای تصمیم گیری صفر – یک، به ترتیب در هر دوره زمانی، برای محصولی که تهیه، تولید، نوسازی، تعمیر و یا دمونتاژ شده است؛ روی عدد یک تنظیم شود. همچنین عدد بزرگ Y به کار رفته است، تا در صورت وجود تعداد زیاد محصولات، محدودیت های مورد نظر برآورده شوند. علاوه بر این، محدودیت (۱۷) متغیرهای تصمیم‌گیری را به صفر یا یک محدود می‌کند؛ در حالی که محدودیت (۱۸) نشان می‌دهد که متغیرهای دیگر منفی نیستند. در نهایت، محدودیت (۱۹) مقدار تهیه، تولید، نوسازی، تعمیر و دمونتاژ را در زمان نشان می‌دهد.

٤ روش تحقیق

تحقیق حاضر از حیث هدف، تحقیقی کاربردی است که قصد دارد دستاوردهای علمی حاصل از تحقیقات بنیادی را به حوزه تکنولوژی انتقال دهد. همچنین از حیث جمع‌آوری داده، تحقیق توصیفی(غیر آزمایشی) است، که هدف آن توصیف‌کردن شرایط یا پدیده‌های مورد بررسی در مدل است، نه بررسی رابطه علت- معلولی و آزمایش آن. به طور کلی در علم تحقیق در عملیات[1] برای اجرای تجربه علمی، ابتدا از مدلسازی و عمدتا از مدل‌های ریاضی استفاده می‌شود. روش مورد استفاده در این تحقیق نیز، روش تجزیه و تحلیل کمی با استفاده از مدل‌های تجویزی ریاضی می‌باشد.

از آنجا که مدل شبکه لجستیک معکوس یکپارچه تشریح شده در این تحقیق از نوع مسایل 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[2] و عدم توانایی خروج از آن می‌شود [۷]. لذا برای حل آن نمی‌توان از روش‌های دقیق استفاده کرد. محققان برای حل این‌گونه مسایل، از روش‌های ابتکاری و فراابتکاری

[1] Operation research
[2] Local optima

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

که بر پایه بهینه‌سازی مسایل ترکیبی استوارند، استفاده می‌کنند. در این تحقیق نیز برای حل مساله مورد نظر از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است که در بخش ۴ به تبیین مفهوم و ساختار کلی آن می‌پردازیم.

۵ الگوریتم ژنتیک

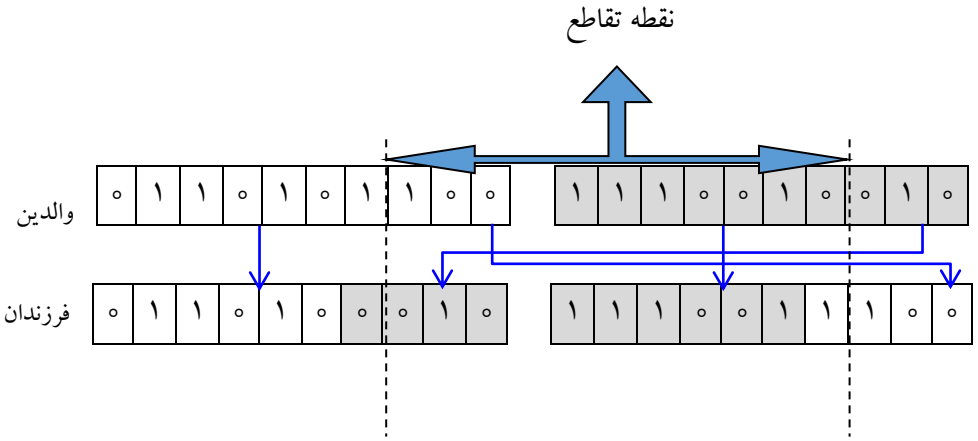
الگوریتم ژنتیک[1] روشی برای یافتن راه حل تقریبی برای مسایل بهینه‌سازی است که زیرمجموعه‌ای از الگوریتم‌های تکاملی به شمار می‌آید [۲۳]. الگوریتم ژنتیک، یک الگوریتم تکراری است که فهرستی از جواب‌های (جمعیت) خوب را نگه می‌دارد. در هر تکرار، از روی جمعیت فعلی، جواب‌های جدیدی ساخته شده و با استفاده از تابع برازش[2] مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. همه جواب‌های جدید، همراه با جواب‌های موجود در جمعیت فعلی با یکدیگر مقایسه می‌شوند، تا مناسب‌ترین جواب‌ها به عنوان جمعیت جدید، انتخاب شوند. در فرایند انتخاب[3] نه تنها باید بهترین جواب‌ها (جواب‌های برتر[4]) تا زمان انجام این فرایند، برای تکرار بعدی انتخاب شوند؛ بلکه لازم است سایر جواب‌ها (اگرچه جواب‌های بدتری باشند) نیز در نظر گرفته شوند، تا از به دام افتادن در بهینه‌های محلی اجتناب شود. مراحل تکراری الگوریتم ژنتیک تا جایی ادامه می‌یابند که یکی از معیارهای خاتمه فرآیند، مانند بیش‌ترین تعداد تکرار و یا عدم تغییر در بهترین جواب ثبت شده در تعداد مشخصی از تکرارها، برقرار شود [۲۴]. به طور خلاصه، الگوریتم ژنتیک از شش مرحله تشکیل شده است: مقداردهی اولیه، مقداریابی، گزینش، عملگرهای ژنتیکی (شامل تقاطع[5] و جهش[6])، 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، مقداریابی صورت می‌گیرد. این مقدار در مرحله گزینش و برای مشخص کردن اثرگذاری یا عدم اثرگذاری جواب در نسل بعدی و تعداد دفعات استفاده از آن، به کار می‌رود. در وهله بعد، عملگرهای ژنتیکی مختلف، روی جواب‌های برگزیده اعمال می‌شوند تا فرزندها ساخته شوند. سپس مرحله مقداریابی 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 می‌شوند. این الگوریتم یا با رسیدن به تعداد معینی تکرار، خاتمه می‌یابد، یا این که 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 [۲۴]. مهم‌ترین عملگرهای ژنتیکی عبارتند از: تقاطع و جهش. در عملگر تقاطع، دو فرد با هم ترکیب می‌شوند تا دو فرزند ساخته شود،که هر دوی آن‌ها از هر یک از والدین خود، بخش‌هایی را به ارث برده‌اند. در مقابل، عملگر جهش از یک فرد استفاده کرده و به شکل تصادفی، یک یا بیش از یکی از ژن‌های فرد منتخب را تغییر می‌دهد تا به فرد جدیدی برسد. عملگر تقاطع این اطمینان را ایجاد می‌کند که خصوصیات خوب به نسل بعدی منتقل خواهند شد؛

[1] Genetic Algorithm
[2] fitness function
[3] Selection
[4] elite solution
[5] cross-over
[6] mutation

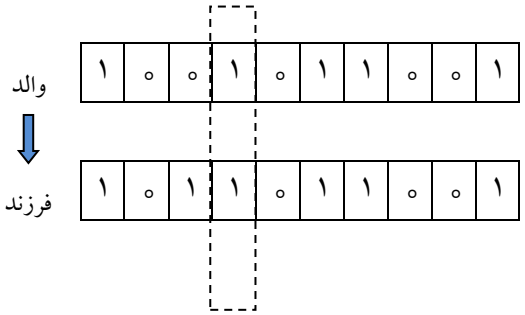
[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

درحالی که عملگر جهش برای ایجاد تنوع گسترده در بین کروموزوم‌ها، ضروری است. مثال‌هایی از این دو عملگر به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده‌است [۲۴].



شکل ۳. نمونه‌ای از یک عملگر تقاطع تک نقطه‌ای



شکل ٤. نمونه‌ای از یک عملگر جهش

٦ آزمایش‌های عددی

جزییات مربوط به مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مدل لجستیک معکوس یکپارچه موردنظر، 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 می توان آن را فرآیندی فرعی و جزئی در نظر گرفت. هزینه‌های راه اندازی فعالیت ها مربوط به یک دوره تولید هستند و هر دوره تولیدی برابر یک ماه در نظر گرفته شده است. نکته قابل توجه در مورد نحوه برآورد هزینه‌های خطوط احیاست که شامل تعمیر، نوسازی و تولید مجدد می‌شود. از آنجا که محصولات تحت کیفیت‌های مختلف، با عدد ۱ برای پایین‌ترین سطح کیفی و ۱۰ برای بالاترین سطح کیفی بر می‌گردند؛ لذا هزینه‌های مختلفی را برای خطوط احیای مختلف به خود اختصاص می دهند.

یک افق زمانی متشکل از ۸ دوره تولیدی را در نظر می‌گیریم. همان‌طور که اشاره شد، محصولات بازگشت داده شده، با توجه به کیفیت‌های مختلف در پایین‌ترین سطح؛ یعنی سطح کیفی ۱، تا بالاترین سطح؛ یعنی سطح

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

کیفی ۱۰ دسته بندی می‌شوند. مقدار بازگشتی قطعی محصولات، برای هر دوره و برای هر دو محصول، تحت سطوح کیفی مختلف در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که مقدار تقاضا برای ۲ دوره اول، صفر است تا به شبکه لجستیک معکوس این امکان را بدهد تا جهت پاسخگویی به تقاضا آماده شود.

در آزمایش‌ها تعداد ۲۸۶ سیاست[1] 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. 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؛ درحالی که باقی محصولات، تولید مجدد یا دفع می‌شوند. همین‌طور آستانه کیفی نوسازی همیشه از آستانه کیفی تولید مجدد بزرگ‌تر بوده و یا با آن برابر است. در صورتی که برابر باشد، محصولات بازگشتی در آن کیفیت یا با کیفیت بالاتر، نوسازی می‌شوند و خط تولید مجدد اصلا به کار نمی‌آید؛ درحالی که باقی محصولات دفع می‌شوند. علاوه بر این، در صورتی که سطح کیفی محصولات بازگشتی پایین‌تر از سطوح کیفی تعیین شده باشد، هیچ یک از خط‌های تعمیر، نوسازی یا تولید مجدد استفاده نمی‌شوند و تمامی محصولات بازگشتی دفع می‌شوند. تعداد کل محصولات احیا شده و میانگین هزینه فعالیت‌های احیا برای ۱۰ سیاست احیای برتر از میان ۲۸۶ سیاست احیا و برای هر دو محصول اول و دوم در جدول ۴ و ۵ نشان داده شده است.

جدول ٤. عملکرد خطوط احیا تحت سیاست‌های احیای مختلف برای محصول اول

شماره	سیاست	تولید مجدد	هزینه میانگین تولید مجدد	نوسازی	هزینه میانگین نوسازی	تعمیر	هزینه میانگین تعمیر	هزینه کل احیا
۱۲۱	p(۹,۱,۱)	۰	۰	۶۵۲	۱/۰۴۷۷e+۰۵	۱۴۸	۲/۱۶۵۵e+۰۴	۷۱۵۱۴۹۸۰
۹	p(۳,۳,۲)	۸۵	۱۳۰۰۰۰	۰	۰	۶۳۴	۹/۵۷۲۶e+۰۴	۷۱۷۴۰۲۸۴
۸۵	p(۸,۱,۱)	۰	۰	۵۶۸	۱/۱۳۶۱e+۰۵	۲۳۲	۳/۵۵۳۹e+۰۴	۷۲۷۷۵۵۲۸
۳	p(۲,۲,۱)	۸۱	۱۳۰۰۰۰	۰	۰	۷۱۹	۱/۰۳۳۲e+۰۵	۸۴۸۱۷۰۸۰
۲۲۵	p(۱۱,۳,۲)	۸۵	۱۳۰۰۰۰	۶۳۴	۷/۵۸۶۰e+۰۴	۰	۰	۵۹۱۴۵۲۴۰
۲۲۲	p(۱۱,۲,۱)	۸۱	۱۳۰۰۰۰	۷۱۹	۸/۴۰۳۳e+۰۴	۰	۰	۷۰۹۴۹۷۲۷
۱۲	p(۴,۲,۱)	۸۱	۱۳۰۰۰۰	۱۶۷	۱/۴۰۰۹e+۰۵	۵۵۲	۸/۶۱۷۸e+۰۴	۸۱۴۹۵۲۸۶
۵۸	p(۷,۲,۱)	۸۱	۱۳۰۰۰۰	۴۱۶	۱/۱۶۹۸e+۰۵	۳۰۳	۴/۷۱۲۹e+۰۴	۷۳۴۷۳۷۶۷
۱۲۲	p(۹,۲,۱)	۸۱	۱۳۰۰۰۰	۵۷۱	۹/۹۰۶۰e+۰۴	۱۴۸	۲/۱۶۵۵e+۰۴	۷۰۲۹۸۲۰۰
۸۶	p(۸,۲,۱)	۸۱	۱۳۰۰۰۰	۴۸۷	۱/۰۸۳۸e+۰۵	۲۳۲	۳/۵۵۳۹e+۰۴	۷۱۵۵۶۱۰۸

[1] Policy

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

جدول ۵. عملکرد خطوط احیا تحت سیاست‌های احیای مختلف برای محصول دوم

شماره	سیاست	تولید مجدد	هزینه میانگین تولید مجدد	نوسازی	هزینه میانگین نوسازی	تعمیر	هزینه میانگین تعمیر	هزینه کل احیا
۱۲۱	p(۹,۱,۱)	۰	۰	۳۱۹	۱/۱۲۵۸e+۰۵	۸۱	۲/۷۳۴۶e+۰۴	۳۸۱۲۸۰۴۶
۹	p(۳,۳,۲)	۴۰	۱۴۰۰۰۰	۰	۰	۳۲۰	۱/۰۲۴۸e+۰۵	۳۸۳۹۳۶۰۰
۸۵	p(۸,۱,۱)	۰	۰	۲۷۷	۱/۲۲۳۸e+۰۵	۱۲۳	۴/۱۹۱۱e+۰۴	۳۹۰۵۴۳۱۳
۳	p(۲,۲,۱)	۴۰	۱۴۰۰۰۰	۰	۰	۳۶۰	۱/۰۹۹۹e+۰۵	۴۵۱۹۶۴۰۰
۲۲۵	p(۱۱,۳,۲)	۴۰	۱۴۰۰۰۰	۳۲۰	۸/۰۱۶۹e+۰۴	۰	۰	۳۱۲۵۴۰۸۰
۲۲۲	p(۱۱,۲,۱)	۴۰	۱۴۰۰۰۰	۳۶۰	۸/۸۴۸۳e+۰۴	۰	۰	۳۷۴۵۳۸۸۰
۱۲	p(۴,۲,۱)	۴۰	۱۴۰۰۰۰	۸۱	۱/۴۹۹۴e+۰۵	۲۷۹	۹/۲۵۶۳e+۰۴	۴۳۵۷۰۲۱۷
۵۸	p(۷,۲,۱)	۴۰	۱۴۰۰۰۰	۲۰۲	۱/۲۶۷۲e+۰۵	۱۵۸	۵/۳۶۷۱e+۰۴	۳۹۶۷۷۴۵۸
۱۲۲	p(۹,۲,۱)	۴۰	۱۴۰۰۰۰	۲۷۹	۱/۰۶۵۰e+۰۵	۸۱	۲/۷۳۴۶e+۰۴	۳۷۵۲۸۵۲۶
۸۶	p(۸,۲,۱)	۴۰	۱۴۰۰۰۰	۲۳۷	۱/۱۶۷۸e+۰۵	۱۲۳	۴/۱۹۱۱e+۰۴	۳۸۴۳۱۹۱۳

عملکرد خطوط احیا شامل تعمیر، نوسازی و تولید مجدد، تحت تاثیر ۱۰ آستانه کیفی مورد بررسی قرار گرفت، هر کدام از آستانه‌های کیفی به عنوان یک سیاست احیا، نحوه هدایت محصولات بازگشتی را به مسیرهای احیا مشخص می‌کند.به عنوان مثال، سیاست شماره ۱۲۱، محصولات بازگشتی دارای سطح کیفی ۹ و بالاتر از آن را که شامل سطح کیفی ۱۰ می‌شود، به خط تعمیر جهت احیا هدایت می‌کند. همچنین در سیاست مورد نظر، آستانه‌های کیفی نوسازی و تولید مجدد با هم برابرند؛ لذا طبق آنچه قبلا در توضیحات گفته شد،تمامی محصولات دارای سطح کیفی ۱ تا ۷ جهت احیا وارد خط نوسازی می‌شوند. در هر دو جدول ۴ و ۵، تعداد کل محصولات ارسالی به خط تولید مجدد برابر با صفر و به دنبال آن هزینه میانگین به ازای هر محصول برای خط تولید مجدد نیز صفر شده است. در مورد سناریوی ۹ نیز طبق همین قائده، محصولات با سطح کیفی ۲، جهت احیا وارد خط تولید مجدد شدند. به دلیل برابر بودن آستانه‌های کیفی نوسازی و تعمیر، اولویت با خط تعمیر است؛ لذا همه محصولات دارای سطح کیفی ۳ تا ۱۰، جهت احیا وارد خط تعمیر شده‌اند. در نظر گرفتن آستانه کیفی ۱۱ برای آستانه کیفی تعمیر در سیاست ۲۲۵، بیانگر عدم استفاده از خط مربوط است؛ یعنی خط تعمیر اصلا به کار نمی‌آید و تمامی محصولات بازگشتی، وارد خطوط نوسازی، تولید مجدد و دفع می‌شوند. در مورد سیاست ۲۲۲ نیز همین‌طور است، با این تفاوت که در سیاست مذکور، محصولات بازگشتی دارای سطح کیفی ۱ وارد خط تولید مجدد شده‌اند. باقی محصولاتی که دارای سطوح کیفی ۲ تا ۱۰ هستند، وارد خط نوسازی شده‌اند و هیچ محصولی دفع نشده است. لازم به ذکر است هنگامی که تمامی آستانه‌های کیفی برابر با ۱۱ باشند، به این معنی است که هیچ‌کدام از خطوط تعمیر، تولید مجدد و نوسازی به کار نمی‌آیند و همه محصولات بازگشتی دفع می‌شوند.

هزینه‌های تعمیر بر تصمیمات شبکه لجستیک معکوس، جهت انتخاب خطوط مورد نیاز برای تهیه محصولات تاثیرگذار است. هرگونه تغییر در هزینه‌های واحد تعمیر، می تواند انتخاب گزینه دیگری (نوسازی یا

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

تولید مجدد) را برای احیای محصولات یک سطح کیفی خاص، پر اهمیت‌تر و یا کم‌اهمیت سازد. همچنین این تغییر می‌تواند روی انتخاب خط تولید رو به جلو، جهت تهیه محصولات تاثیرگذار باشد. در مورد سایر هزینه‌های مرتبط با گزینه‌های نوسازی و تولید مجدد نیز همین‌طور است. در جدول ۶ و ۷ مقدار هزینه کل و هزینه میانگین برای دو محصول مورد نظر با توجه به سیاست‌های احیای مختلف بررسی و محاسبه شده‌اند.

جدول ٦. مقدار هزینه کل و میانگین تحت سیاست‌های احیای مختلف برای محصول اول

شماره	سیاست	هزینه میانگین	هزینه کل				
			دفع	فروش از دست رفته	نگهداری موجودی	فعالیت های تولید و احیا	راه اندازی
۱۲۱	p(۹,۱,۱)	۴۲۴۶۴/۶۰	۰	۱۹۳۲۰۰۰۰۰	۱۱۴۱۵۶۰۰۰	۳۲۱۶۱۳۰۶۳/۵۴	۸۰۰۰۰۰۰
۹	p(۳,۳,۲)	۵۵۹۷۸/۲۷	۲۵۵۱۵۰۰۰	۰	۷۸۱۲۰۰۰۰	۷۰۲۰۳۹۰۶۹/۴۰	۳۴۰۰۰۰۰۰
۸۵	p(۸,۱,۱)	۵۱۱۹۰/۶۱	۰	۳۱۰۸۰۰۰۰۰	۱۲۳۴۸۰۰۰۰	۳۲۵۵۷۹۱۸۷/۸۹	۸۰۰۰۰۰۰
۳	p(۲,۲,۱)	۵۶۸۷۵/۸۴	۰	۰	۸۱۳۹۶۰۰۰	۷۳۷۷۴۱۶۶۸/۹۸	۳۴۰۰۰۰۰۰
۲۲۵	p(۱۱,۳,۲)	۶۳۰۲۰/۶۰	۲۵۵۱۵۰۰۰	۰	۱۳۴۰۶۴۰۰۰	۷۵۱۷۳۰۰۳۱/۵۴	۳۴۰۰۰۰۰۰
۲۲۲	p(۱۱,۲,۱)	۶۰۶۶۹/۵۲	۰	۰	۱۳۸۰۹۶۰۰۰	۷۳۷۹۴۶۸۲۸/۹۲	۳۴۰۰۰۰۰۰
۱۲	p(۴,۲,۱)	۶۰۵۷۱/۷۲	۰	۰	۱۱۸۱۸۸۰۰۰	۷۵۲۳۸۷۸۶۳/۶۲	۳۸۰۰۰۰۰۰
۵۸	p(۷,۲,۱)	۶۲۵۷۷/۸۲	۰	۰	۱۳۴۸۲۰۰۰۰	۷۶۵۸۴۷۳۸۷/۸۹	۳۸۰۰۰۰۰۰
۱۲۲	p(۹,۲,۱)	۶۶۲۹۲/۳۹	۰	۰	۱۳۴۸۲۰۰۰۰	۸۲۱۵۶۵۹۷۹/۲۵	۳۸۰۰۰۰۰۰
۸۶	p(۸,۲,۱)	۶۴۱۸۳/۱۱	۰	۰	۱۲۳۴۸۰۰۰۰	۸۰۱۲۶۶۷۱۶/۷۶	۳۸۰۰۰۰۰۰

جدول ۷. مقدار هزینه کل و میانگین تحت سیاست‌های احیای مختلف برای محصول دوم

شماره	سیاست	هزینه میانگین	هزینه کل				
			دفع	فروش از دست رفته	نگهداری موجودی	فعالیت های تولید و احیا	راه اندازی
۱۲۱	p(۹,۱,۱)	۷۲۶۹۰/۶۸	۰	۲۲۶۸۰۰۰۰۰	۵۹۱۳۶۰۰۰	۱۴۲۲۰۸۱۰۵/۵۳	۸۰۰۰۰۰۰
۹	p(۳,۳,۲)	۸۹۸۶۱/۷۱	۱۲۶۰۰۰۰۰	۰	۷۴۵۹۲۰۰۰	۳۷۱۹۷۸۲۶۵/۶۲	۸۰۰۰۰۰۰۰
۸۵	p(۸,۱,۱)	۱۰۴۰۱۰/۸۷	۰	۴۰۰۴۰۰۰۰۰	۴۷۷۱۲۰۰۰	۱۶۷۹۵۳۲۴۵/۵۴	۸۰۰۰۰۰۰
۳	p(۲,۲,۱)	۹۴۵۲۷/۲۰	۰	۰	۶۲۸۳۲۰۰۰	۴۲۴۳۳۱۲۰۸/۳۳	۸۰۰۰۰۰۰۰
۲۲۵	p(۱۱,۳,۲)	۸۱۳۴۱/۲۳	۱۲۶۰۰۰۰۰	۰	۷۳۹۲۰۰۰۰	۳۲۱۵۲۷۳۹۳/۷۵	۸۰۰۰۰۰۰۰
۲۲۲	p(۱۱,۲,۱)	۸۸۴۴۵/۰۱	۰	۰	۷۷۲۸۰۰۰۰	۳۷۳۳۹۰۰۸۳/۳۳	۸۰۰۰۰۰۰۰
۱۲	p(۴,۲,۱)	۸۹۱۶۶/۰۲	۰	۰	۹۱۷۲۸۰۰۰	۳۵۹۲۶۸۱۷۰/۰۵	۸۴۰۰۰۰۰۰
۵۸	p(۷,۲,۱)	۸۴۱۵۷/۴۳	۰	۰	۵۸۸۰۰۰۰۰	۳۶۲۱۴۴۶۰۵/۳۳	۸۴۰۰۰۰۰۰
۱۲۲	p(۹,۲,۱)	۷۸۴۹۷/۷۸	۰	۰	۶۲۸۳۲۰۰۰	۳۲۴۱۵۴۷۱۶/۰۴	۸۴۰۰۰۰۰۰
۸۶	p(۸,۲,۱)	۸۵۶۶۶/۳۱	۰	۰	۵۹۴۷۲۰۰۰	۳۷۰۵۲۵۹۰۴/۷۰	۸۴۰۰۰۰۰۰

در هر دو جدول ۵ و ۶، مقدار هزینه کل، شامل ۵ بخش (هزینه راه‌اندازی، هینه فعالیت‌های تولید و احیا، هزینه نگهداری موجودی، هزینه فروش از دست‌رفته و هزینه دفع) برای هر یک از دو محصول نشان داده شده است.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

لازم به ذکر است که هزینه فعالیت‌های تولید و احیا شامل تمامی فعالیت‌ها؛ یعنی تامین قطعات، تولید، تعمیر، نوسازی و تولید مجدد می‌باشد. در سیاست ۱۲۱ تعدادی فروش از دست‌رفته داریم که هزینه کل آن برای هر دو محصول محاسبه شده است. همچنین آستانه کیفی تولید مجدد در سیاست‌های ۹ و ۲۲۵ برابر ۲ در نظر گرفته شده است؛ بنابراین محصولات بازگشتی با سطح کیفی پایین‌تر که شامل محصولات بازگشتی با سطح کیفی ۱ هستند، همگی دفع می‌شوند. هزینه میانگین برای هر واحد محصول و برای هر سیاست، از تقسیم مقدار هزینه کل بر میزان کل تقاضای موجود در داخل افق زمانی به دست می‌آید. میزان کل تقاضای موجود در داخل افق زمانی برای محصول ۱ برابر ۱۵۰۰۰ و برای محصول دوم برابر ۶۰۰۰ است.

همان‌طور که آستانه‌های کیفی، تاثیر زیادی بر عملکرد شبکه لجستیک معکوس دارند، مقادیر پارامترها و ورودی‌ها نیز تاثیر چشمگیری بر عملکرد شبکه لجستیک معکوس دارد. به عنوان مثال در موارد بسیار شدید، مقدار کمی از بازگشت محصولات می‌تواند مساله احیا را به امری پرهزینه تبدیل نماید؛ چراکه تهیه محصولات از طریق خط رو به جلو که شامل تامین قطعات و تولید می‌شود لازم و ضروری به نظر می‌رسد؛ درحالی که مقدار زیاد بازگشت محصول می‌تواند ضرورت استفاده از خط رو به جلو را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. همچنین هزینه تولید، زمانی اعمال می‌شود که محصول نهایی، از قطعات جدید یا از قطعات دمونتاژ شده در یکی از خطوط احیا در فرآیند دمونتاژ حاصل شود؛ بنابراین، هزینه واحد تولید، هم بر هزینه خط احیا و هم خط رو به جلو یا مستقیم، تاثیرگذار است. در صورت وجود هزینه‌های بالای راه‌اندازی، برآوردن تمامی نیازها و تقاضاها مقرون به صرفه نیست. از این‌رو هزینه‌های فروش از دست رفته افزایش می‌یابد. هزینه واحد دفع، تاثیر چشمگیری بر شبکه لجستیک 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. به عنوان مثال در شبکه لجستیک معکوس طراحی شده در این تحقیق، به دلیل بالا بودن هزینه های دفع برای دو مجصول، شبکه مبادرت به احیای محصولات نموده است. فقط در دو مورد از میان ۱۰ سیاست احیا در جدول ۵ و ۶؛یعنی سیاست‌های ۹ و ۲۲۵، شبکه RL، محصولات دارای سطح کیفی ۱ را به سمت خط دفع هدایت کرده است. میانگین هزینه هر سیاست برای هر یک از دو محصول، به طور مجزا در دو جدول ۵ و ۶ نشان داده شد. برخی از سیاست‌ها به عنوان مثال سیاست ۸۵، بیش‌ترین هزینه میانگین را به خود اختصاص داده است؛ در صورتی که همین هزینه میانگین برای سیاست مورد نظر برای محصول ۱، از برخی دیگر کم‌تر است. از آن‌جا که شبکه لجستیک معکوس، هزینه کل را برای هر چند محصول، به طور توأم محاسبه می کند؛ بنابراین باید دید که کدام سیاست به عنوان برترین سیاست از نظر کم‌ترین هزینه کل از بین سیاست‌های موجود انتخاب شده است. در جدول ۸ ترتیب سیاست‌ها از نظر کم‌ترین هزینه کل برای شبکه لجستیک معکوس مورد نظر، نشان داده شده است.

جدول ۸. مقدار هزینه کل شبکه RL

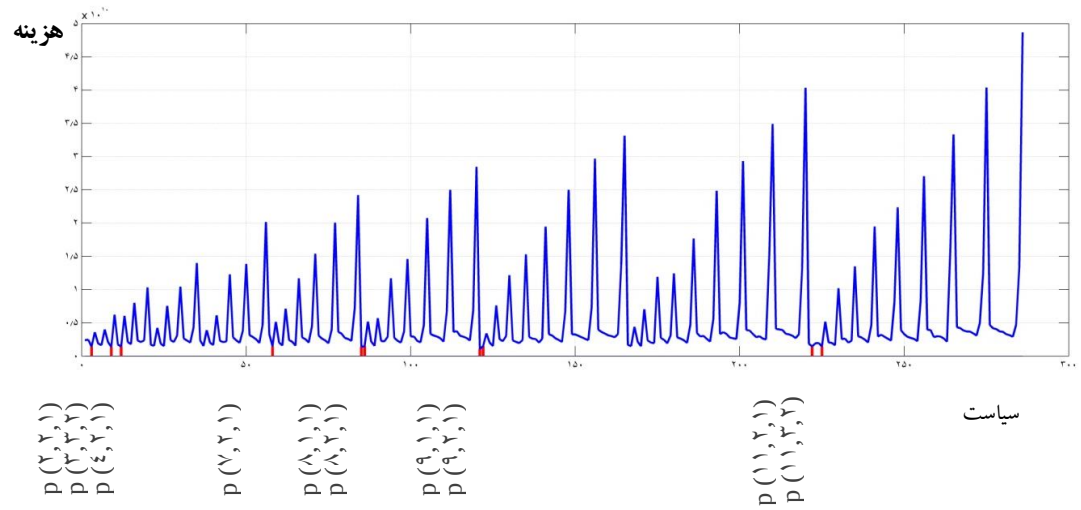
رتبه	شماره	سیاست	هزینه کل
۱	۱۲۱	p(۹,۱,۱)	۱/۰۷۳E+۰۹

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

رتبه	شماره	سیاست	هزینه کل
۲	۹	p(۳,۳,۲)	۱/۳۷۹E+۰۹
۳	۸۵	p(۸,۱,۱)	۱/۳۹۲E+۰۹
۴	۳	p(۲,۲,۱)	۱/۴۲E+۰۹
۵	۲۲۵	p(۱۱,۳,۲)	۱/۴۳۳E+۰۹
۶	۲۲۲	p(۱۱,۲,۱)	۱/۴۴۱E+۰۹
۷	۱۲	p(۴,۲,۱)	۱/۴۴۴E+۰۹
۸	۵۸	p(۷,۲,۱)	۱/۴۴۴E+۰۹
۹	۱۲۲	p(۹,۲,۱)	۱/۴۶۵E+۰۹
۱۰	۸۶	p(۸,۲,۱)	۱/۴۷۷E+۰۹

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، کم‌ترین هزینه مربوط به سیاست ۱۲۱ می‌باشد که رتبه ۱ را به خود اختصاص داده است. همچنین شکل ۵، رفتار شبکه لجستیک معکوس مورد نظر را تحت تمامی ۲۸۶ سیاست احیای ممکن نشان می‌دهد. ۱۰ سیاست احیای برتر از نظر هزینه کل نیز از میان ۲۸۶ سیاست احیا، با علامت قرمز مشخص شده است.



شکل ۵. عملکرد شبکه لجستیک معکوس تحت ۲۸۶ سیاست احیای ممکن

۷ نتیجه و جمع‌بندی

در این مقاله، به یک شبکه لجستیک معکوس دارای یک خط رو به جلو، سه خط احیا شامل تعمیر، نوسازی، تولید مجدد و همچنین یک خط دفع پرداخته شد. یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط جهت تسهیل در امر تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین سیاست احیا با وجود میزان تقاضاها و مقدار محصولات بازگشتی مربوط به سطوح کیفی مختلف شکل داده شد. کیفیت به عنوان یک مقدار عددی جهت تفکیک محصولات بازگشتی به سه خط احیا و یک خط دفع در نظر گرفته شد. خلاصه نتایج آزمایش های عددی انجام شده نشان داد انتخاب خط‌های احیای مورد استفاده در شبکه، تاثیر زیادی بر عملکرد شبکه لجستیک معکوس دارد. همچنین پارامترهای

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

شبکه لجستیک معکوس شامل مقدار بازگشت، هزینه‌های واحد تعمیر، هزینه‌های واحد نوسازی، هزینه‌های واحد تولید، هزینه‌های راه‌اندازی و هزینه‌های دفع، تاثیر زیادی بر انتخاب سیاست‌های احیای بهینه دارند.

به محققان و علاقه‌مندان پیشنهاد می شود تا در مطالعات خود به بررسی موارد ذیل بپردازند:

۱) ارایه مدلی برای تعیین آستانه‌های کیفی خط‌های تعمیر، نوسازی و تولید مجدد در مرحله اول

۲) در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهایی که ماهیت غیرقطعی دارند.

۳) ارایه یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه که هم کاهش هزینه‌ها را در نظر می‌گیرد و هم اهداف محیطی را مورد توجه قرار می‌دهد.

منابع

[۲۳] بهشتی‌نیا، م.، حسنی بیگدلی، م.، (۱۳۹۵). ترکیبی جدید از الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید برای حل مساله زمان‌بندی کارگاهی انعطاف‌پذیر، مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن،۱۳(۴)،۲۱-۳۷.

[1] Aksen, D., Aras, N., Karaarslan, A. G., (2009). Design and analysis of government subsidized collection systems for incentive-dependent returns. International Journal of Production Economics, 119(2), 308-327.

[2] 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.

[3] 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.

[4] Guide, V. D. R., Teunter, R. H., Van Wassenhove, L. N., (2003). Matching demand and supply to maximize profits from remanufacturing. Manufacturing & Service Operations Management, 5(4), 303-316.

[5] Rogers, D. S., Tibben-Lembke, R. S., (1999). Going backwards: reverse logistics trends and practices. Pittsburgh, PA: Reverse Logistics Executive Council.

[6] Dowlatshahi, S., (2000). Developing a theory of reverse logistics Interfaces, 30(3), 143-155.

[7] 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.

[8] Ilgin, M. A., Gupta, S. M., (2010). Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): a review of the state of the art. Journal of environmental management, 91(3), 563-591.

[9] Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F., Zanin, G., (2014). Sustainable SC through the complete reprocessing of end-of-life products by manufacturers: A traditional versus social responsibility company perspective. European Journal of Operational Research, 233(2), 359-373.

[10] Aras, N., Boyaci, T., Verter, V., (2004). The effect of categorizing returned products in remanufacturing. IIE transactions, 36(4), 319-331.

[11] Behret, H., Korugan, A., (2009). Performance analysis of a hybrid system under quality impact of returns. Computers & Industrial Engineering, 56(2), 507-520.

[12] 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.

[13] Das, K., Chowdhury, A. H., (2012). Designing a reverse logistics network for optimal collection, recovery and quality-based product-mix planning. International Journal of Production Economics, 135(1), 209-221.

[14] Mahapatra, S., Pal, R., Narasimhan, R., (2012). Hybrid (re)manufacturing: manufacturing and operational implications. International Journal of Production Research, 50(14), 3786-3808.

[15] Nenes, G., Nikolaidis, Y., (2012). A multi-period model for managing used product returns. International Journal of Production Research, 50(5), 1360-1376.

[16] 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.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]

[17] Gue, S., Aydin, G., Souza, G. C., (2014). Dismantle or remanufacture? European Journal of Operational Research, 233(3), 580–583.
[18] Galbreth, M. R., Blackburn, J. D., (2006). Optimal acquisition and sorting policies for remanufacturing. Production and Operations Management, 15(3), 384-392.
[19] Guide, V. D. R., Muyldermans, L., Van Wassenhove, L. N., (2005). Hewlett-Packard company unlocks the value potential from time-sensitive returns. Interfaces, 35(4), 281-293.
[20] Mitra, S., (2007). Revenue management for remanufactured products. Omega, 35(5), 553-562.
[21] Niknejad, A., Petrovic, D., (2014). Optimisation of integrated reverse logistics networks with different product recovery routes. European Journal of Operational Research, 238(1), 143-154.
[22] Thierry, M.C., Salomon, M., van Nunen, J.A.E.E., Van Wassenhove, L.N., (1995). Strategic issues in product recovery management. California Management Review, 37(2), 114-135.
[24] Niknejad, A., (2014). Quantitative decision making in reverse logistics networks with uncertainty and quality of returns considerations. Unpublished PhD Thesis. Coventry: Coventry University.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.7.2]