

## انتخاب استراتژی‌های بازاریابی زنجیره تأمین در شرایط انتشار عدم قطعیت

علی اکبر حسنی\*

### چکیده

در این مقاله، یک زنجیره تأمین حلقه بسته با هدف پاسخگویی به تقاضای مشتریان و ارائه خدمات پس‌ازفروش با حداکثر سود ممکن بررسی شده است. عدم قطعیت پارامترهای تقاضای مشتریان و ظرفیت تسهیلات از طریق تابع توزیع احتمال پیوسته در مدل اعمال شده و مسئله به روش برنامه‌ریزی تصادفی و در غالب یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط، فرمول‌بندی شده است؛ علاوه بر آن انتشار عدم قطعیت بین سطوح زنجیره تأمین در نظر گرفته شده و تأثیر آن بر سطح پاسخگویی به تقاضای مشتریان نیز ارزیابی شده است. همچنین، امکان انتخاب بهترین استراتژی بازاریابی برای زنجیره تأمین و ایجاد یک جریان قابل اطمینان در طی دوره برنامه‌ریزی لحاظ شده است. مدل ارائه شده با استفاده از یک الگوریتم ممتیک مبتنی بر الگوریتم‌های ژنتیک و جست‌وجوی همسایگی متغیر انطباق‌پذیر حل شده است. کارایی الگوریتم حل با مقایسه عملکرد آن با دو الگوریتم فراابتکاری دیگر ارزیابی شده است. مدل و روش حل ارائه شده برای یک مسئله نمونه در صنعت تولید موتور خودرو اجرا شده است؛ در نهایت مجموعه‌ای از توصیه‌های مدیریتی با توجه به تحلیل نتایج و یافته‌های تحقیق پیرامون همبستگی و تأثیرات متقابل استراتژی‌های بازاریابی مدنظر ارائه شده است. نتایج، حاکی از تأثیر چشمگیر انتشار عدم قطعیت بر برنامه‌ریزی در سطح زنجیره تأمین و عملکرد و اندرکنش متفاوت هر یک از استراتژی‌های بازاریابی مدنظر است.

**کلیدواژه‌ها:** انتخاب استراتژی بازاریابی؛ انتشار عدم قطعیت؛ الگوریتم ممتیک.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۳/۹، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۶/۷.

\* استادیار، دانشگاه شاهرود (نویسنده مسئول).

## ۱. مقدمه

امروزه تحت‌تأثیر فضای رقابتی کسب‌وکار، محصولات ارائه‌شده توسط رقبا بیش از گذشته از جنبه‌های قیمت و کیفیت به یکدیگر نزدیک شده‌اند. در چنین بازار رقابتی به‌منظور ایجاد تمایز نسبت به رقبا و ارتقای مزیت‌های رقابتی، ارائه خدمات پس‌ازفروش به مشتریان می‌تواند توسط شرکت‌ها در نظر گرفته شود [۲]. در یک بازار رقابتی با کالای تقریباً مشابه و همگن از نظر کیفیت و قیمت، مشتریان تمایل به خرید محصول از شرکت ارائه‌دهنده خدمات بهتر را دارند. این استراتژی بازاریابی برای تولیدکنندگان پیشگام در یک بازار حائز اهمیت است. برای نمونه «شرکت رولز-رویس» موتورهای جت را برای شرکت‌های هواپیمایی به همراه خدمات نگهداری و تعمیرات برای یک دوره چندساله ارائه می‌کند [۳]. در بازار محصولات رایانه‌ای به‌عنوان نمونه‌ای از محصولات با فناوری بالا، شرکت‌ها خدمات پس از فروش گسترده‌ای را به مشتریان در ازای خرید محصولات آنان، ارائه می‌نمایند [۴]. مشتریان در صورت پرداخت هزینه مازاد می‌توانند این خدمات را در سطح بالاتر نظیر دوره پوشش زمانی طولانی‌تر دریافت کنند. شرکت‌های خودروسازی نیز محصولات خود را برای یک بازه زمانی و یا میزان کارکرد مشخص خدمات پس از فروش کرده و مجموعه‌ای از خدمات شامل ارائه قطعات یدکی و تعمیر را به مشتریان خود ارائه می‌دهند [۴]. در گذشته، خدمات پس‌ازفروش، یک منبع هزینه‌زا برای شرکت‌ها تلقی می‌شد؛ اما امروزه نگاه‌ها به آن تغییر کرده و به‌منزله یک منبع ایجاد مزیت رقابتی و فرصت‌های جدید کسب‌وکار شناخته می‌شود. به‌طورمعمول، اندازه بازار خدمات پس از فروش بیش از چهار تا پنج برابر بزرگ‌تر از اندازه بازار فروش محصولات نهایی است [۵]؛ همچنین سود این بازار به‌طورمعمول بیش از سه برابر سود فروش محصولات نهایی است [۵]. علاوه بر آن، ارائه خدمات پس از فروش می‌تواند به‌عنوان یکی از معدود کانال‌های ارتباطی دائم بین مشتریان و یک شرکت باشد [۱]. این جریان اطلاعاتی دربردارنده کیفیت و میزان محصولات برگشتی می‌تواند نقش مهمی در بهبود دائمی کیفیت داشته باشد. اهمیت این کانال ارتباطی به حدی است که در مطالعات انجام‌شده از آن به‌عنوان یک ابزار کارا برای افزایش احتمال موفقیت در معرفی محصولات جدید نیز یاد می‌شود. با توجه به مجموعه دلایل مطرح‌شده، تعداد شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات پس‌ازفروش پیوسته در حال افزایش است. علی‌رغم اهمیت این مقوله، همچنان مطالعات اندکی بدین مسئله پرداخته‌اند [۶]. بزرگ‌ترین مشکلات فعالیت شرکت‌ها در این حوزه عبارتند از [۷]: ۱. مدیریت ارتباطات و در نظر گرفتن تمامی فعالیت‌ها شامل خرید، تولید، توزیع و مدیریت موجودی میان تسهیلات مربوطه در سطح زنجیره تأمین؛ ۲. فقدان نگاه سیستمی در ارائه خدمات پس‌ازفروش؛ ۳. مواجه با عدم قطعیت‌های فراوان در فضای برنامه‌ریزی. در این مقاله، این خلأ مبانی نظری موضوع با در نظر گرفتن تمامی فعالیت‌های مدیریت ارائه

خدمات پس از فروش در قالب یک شبکه زنجیره تأمین با لحاظ مجموعه‌ای از استراتژی‌های بازاریابی مرتبط تحت عدم قطعیت در نظر گرفته شده است.

ساختار ادامه این مقاله به شرح زیر خواهد بود: در بخش ۲، پیشینه پژوهش تشریح شده و در بخش ۳، مسئله به‌طور دقیق تشریح، مدل ریاضی مسئله ارائه و الگوریتم حل پیشنهادی معرفی شده است. در بخش ۴، داده‌ها و یافته‌های پژوهش در قالب نتایج محاسباتی حل مدل برای برنامه‌ریزی تصادفی زنجیره تأمین با مجموعه‌ای از استراتژی‌های بازاریابی برای یک نمونه موردی تحلیل شده و توصیه‌های مدیریتی ارائه شده است. در بخش ۵، ضمن نتیجه‌گیری از پژوهش انجام‌شده، زمینه‌های پژوهش‌های آتی معرفی شده است.

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

ظرفیت ارائه خدمات پس از فروش می‌تواند از دو طریق تأمین شود. در حالت تأمین داخلی، شرکت خود اقدام به تأمین نیازمندی‌های خدمات پس از فروش می‌کند. این ظرفیت پیش از دریافت تقاضا برای خدمات پس از فروش توسط شرکت فراهم می‌شود. در حالت دیگر، نیازمندی‌های شرکت از طریق برون‌سپاری تأمین می‌شود. در این حالت ظرفیت ارائه خدمات پس از دریافت تقاضا فراهم می‌شود و ابزاری برای مقابله با عدم قطعیت تقاضای دریافت خدمات محسوب می‌شود [۸]؛ درحالی‌که هزینه و ظرفیت ارائه خدمات از طریق برون‌سپاری ذاتاً با عدم قطعیت همراه است؛ از این رو بسیاری از شرکت‌ها ترجیح می‌دهند خود نیازمندی‌های خدمات پس از فروش را با استفاده از ظرفیت‌های داخلی تأمین کنند. دلیل این انتخاب تنها قابلیت اطمینان این رویکرد نیست؛ بلکه حفاظت از سرمایه‌های معنوی شرکت همچون اعتبار و جایگاه شرکت در میان مشتریان و بازار است. این شرکت‌ها با فراهم کردن ظرفیت مناسب برای ارائه خدمات پیش از دریافت تقاضا، سعی می‌کنند سود مورد انتظار خود را حداکثر کنند؛ با وجود این، مواجهه با برنامه‌ریزی تولید محصول و ارائه خدمت به‌صورت همزمان یک فعالیت بسیار پیچیده است؛ در واقع این شرکت‌ها با دو زنجیره تأمین روبه‌رو هستند که عبارت‌اند از: زنجیره تأمین با جریان مستقیم برای تأمین محصولات نهایی و همچنین زنجیره تأمین خدمات پس از فروش برای پاسخگویی به خدمات موردنیاز مشتریان. برنامه‌ریزی همزمان این دو زنجیره بسیار پیچیده است؛ از این رو در مبانی نظری موضوع در اغلب موارد به‌منظور ساده‌سازی، این دو زنجیره به‌صورت مستقل از استراتژی‌های بازاریابی، بررسی شده است. با توجه به یافته‌های مطالعات انجام‌شده توسط برخی از پژوهشگران، مطالعات اندکی در زمینه زنجیره تأمین مدیریت خدمات پس از فروش انجام شده است [۴، ۵]. این نیاز برنامه‌ریزان و مدیران زنجیره‌های تأمین، با در نظر گرفتن دو جریان برنامه‌ریزی تأمین محصول نهایی به‌صورت مستقیم و ارائه خدمات پس از فروش

به‌صورت همزمان، برطرف شده است. در مطالعات انجام‌شده در حوزه خدمات پس از فروش، مقوله‌های در نظر گرفته‌شده در فرآیند برنامه‌ریزی زنجیره تأمین عبارت‌اند از [۹]: ۱. فعالیت‌های نگهداری و تعویض قطعات برای جلوگیری از بروز خرابی [۱۰-۱۳]؛ ۲. تعمیر سیستم هنگام خرابی [۱۴]؛ ۳. مدیریت قطعات یدکی برای پاسخگویی به خدمات پس از فروش [۱۵]؛ ۴. انتخاب خدمات پس‌ازفروش مناسب [۱۶-۲۰]؛ ۵. مدیریت ارتباطات مشتریان با تأثیر چشمگیری بر سودآوری زنجیره ارائه خدمات پس از فروش [۲۱]؛ ۶. پیش‌بینی تقاضای خدمات پس از فروش [۲۲]؛ ۷. رقابت بین محصولات نو و باز تولیدشده [۲۳]؛ ۸. رقابت بین خدمات پس‌از-فروش ارائه‌شده به مشتریان [۲۴]؛ ۹. پیکربندی شبکه خدمات پس‌ازفروش با توجه به مجموعه فعالیت‌های موردنیاز [۲۵-۲۷].

ازجمله مهم‌ترین تصمیم‌های اتخاذشده عبارت است از: انتخاب استراتژی مناسب شامل انتخاب استراتژی‌های تولید و خدمات پس‌ازفروش [۵]. بررسی مبانی نظری موضوع حاکی از عدم وجود یک مطالعه با نگرشی جامع و فرآیند محور به برنامه‌ریزی برای فعالیت‌های خدمات پس از فروش و در نظر گرفتن اندرکنش آن با زنجیره تأمین محصولات نهایی است. ازاین‌رو در این مطالعه بدین مسئله پرداخته شده است و علاوه بر آن ماهیت غیرقطعی فضای برنامه‌ریزی در مدیریت جریان پویای زنجیره تأمین خدمات پس از فروش نیز لحاظ شده است. به‌طورمعمول در مطالعات انجام‌شده پیرامون مدیریت خدمات پس از فروش، بر ماهیت غیرقطعی برخی از پارامترهای تصمیم‌گیری تأکید شده است که عبارت‌اند از: ۱. زمان وقوع خرابی در محصولات که تقاضای دریافت خدمات پس از فروش را ایجاد می‌نماید [۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۷، ۱۸، ۲۲، ۲۸-۳۳]؛ ۲. مدت‌زمان تعمیر محصولات و سیستم [۱۴، ۲۹-۳۱] و هزینه تعمیر [۲۰].

عمده مطالعات انجام‌شده در مبانی نظری موضوع، از نگاهی جامع از منظر استراتژی‌های بازاریابی به مسئله مدیریت زنجیره تأمین خدمات برگشتی محروم بوده و عمده تمرکز بر بخش‌های پایین‌دستی زنجیره نظیر تقاضای دریافت تعمیر، فرآیند تعمیر و عدم‌قطعیت‌های مربوط به آن است؛ درحالی‌که تسهیلات بالادستی تولیدکننده حاضر در شبکه زنجیره تأمین با نقش پشتیبانی در تأمین قطعات یدکی نادیده گرفته شده است. در این مقاله، عملکرد تسهیلات تولیدکننده در لایه بالادستی زنجیره خدمات پس‌ازفروش و عدم‌قطعیت‌های آنها در نظر گرفته شده است که عبارت‌اند از: ۱. عدم‌قطعیت تقاضای محصولات نهایی و قطعات یدکی؛ ۲. عدم‌قطعیت تأمین و ۳. عدم‌قطعیت در عملکرد قطعات. تقاضای محصولات نهایی دارای یک تابع تصادفی از قیمت خرده‌فروشان، دوره خدمات پس‌ازفروش و سطح خدمت است. تقاضای قطعات یدکی تصادفی بوده و به میزان کل محصولات نهایی عرضه‌شده و کیفیت محصولات وابسته است. عدم‌قطعیت تأمین نیز به‌واسطه بروز خرابی در عملکرد این تسهیلات است که

در نهایت منجر به تصادفی شدن ظرفیت آن‌ها می‌شود [۳۴]. علاوه بر عدم قطعیت حاضر در سطوح مختلف زنجیره تأمین، انتشار عدم قطعیت با حرکت جریان از لایه‌های بالایی به پایینی در سطح شبکه مستقیم به منظور تعیین میزان جریان غیرقطعی نیز در نظر گرفته شده است. در نهایت، در این مقاله زنجیره تأمین با لحاظ نمودن هر دو جریان مستقیم محصولات نهایی و خدمات از فروش تحت عدم قطعیت تقاضا و تأمین بررسی شده است. هدف از برنامه‌ریزی در این سیستم پیچیده، تعیین بهترین استراتژی بازاریابی (قیمت، دوره خدمات پس از فروش و سطح خدمت) و برقراری یک جریان پویای قابل اطمینان در سطح زنجیره با هدف پشتیبانی از استراتژی‌های بازاریابی است. نوآوری‌های ارائه شده در این مقاله به‌طور کلی عبارت است از: ۱. کمی‌سازی انتشار عدم قطعیت در سطح شبکه زنجیره تأمین؛ ۲. تعیین ارتباط بین سطح خدمت زنجیره و عملکرد تصادفی تسهیلات؛ ۳. تعیین ارتباط بین عملکرد تصادفی تسهیلات زنجیره و مقادیر جریان؛ ۴. عدم قطعیت استوار هزینه‌های تأمین؛ ۵. ارائه یک مدل ریاضی جامع برای برنامه‌ریزی همزمان زنجیره تأمین مستقیم محصولات و خدمات پس از فروش و تعیین بهترین استراتژی بازاریابی تحت عدم قطعیت؛ ۶. ارائه یک الگوریتم حل فراابتکاری برای مدل ارائه شده.

### ۳. روش‌شناسی پژوهش

**تعریف مسئله.** در این مسئله، برنامه‌ریزی زنجیره تأمین یک شرکت تولیدکننده برای پاسخگویی به تقاضای مشتریان محصولات نهایی و خدمات پس از فروش بررسی شده است. محصولات با قیمت و دوره خدمات پس از فروش معین شامل تعمیر بدون دریافت هزینه به مشتریان عرضه می‌شوند. قطعات اصلی پس از انتقال از تأمین‌کنندگان به تولیدکنندگان و مونتاژ شدن، محصول نهایی را ایجاد می‌کنند که در نهایت توسط خرده‌فروشان به مشتریان عرضه می‌شوند. قطعات یدکی مورد نیاز برای تعمیر محصولات توسط زنجیره تأمین خدمات تأمین می‌شوند که این زنجیره دارای سه فعالیت است که عبارت‌اند از: ۱. انتخاب تأمین‌کنندگان قطعات برای تعمیر محصولات برگشتی؛ ۲. ارسال قطعات یدکی به خرده‌فروشان برای تعمیر محصولات برگشتی؛ ۳. تعمیر کامل برخی از قطعات معیوب محصولات برگشتی و استفاده از آن‌ها در پاسخگویی به تقاضای خدمات پس از فروش. در زنجیره تأمین مورد بررسی، خرده‌فروشان نقش مراکز جمع‌آوری و تعمیر را در زنجیره‌های تأمین برگشتی بر عهده دارند. هزینه‌های حمل‌ونقل برگشت محصولات بر عهده مشتریان است. محصولات و قطعات یدکی مورد نیاز در ابتدای هر دوره در اختیار خرده‌فروشان قرار می‌گیرند. پیش از آغاز هر دوره، خرده‌فروشان نیازمندی‌های خود را به تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان سفارش می‌دهند. با توجه به تقاضای خرده‌فروشان و ظرفیت تولید، هر تولیدکننده اقدام به ارائه سفارش قطعات مورد نیاز به تأمین‌کنندگان می‌کند.

تأمین‌کنندگان نیز با توجه به میزان سفارش دریافت‌شده از تولیدکنندگان و خرده‌فروشان و ظرفیت خود، قطعات موردنیاز را تأمین می‌کنند. در مواجهه با عدم قطعیت‌های فضای تصمیم‌گیری، عدم قطعیت پارامترهای کلیدی در مدل‌سازی لحاظ شده است که عبارت‌اند از: ۱. تقاضای محصولات نهایی و قطعات یدکی موردنیاز در دوره خدمات پس از فروش؛ ۲. ظرفیت تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان؛ ۳. دوره عمر قطعات؛ ۴. هزینه‌های تأمین. عدم قطعیت ظرفیت‌های تولید و تأمین به دلیل امکان بروز خرابی در سیستم است که در نهایت منجر به نرخ تصادفی تولید محصولات نامنطبق می‌شود. جریان با کیفیت مدنظر در گذر از لایه‌های زنجیره تأمین دچار تغییر شده و این مشکل در پی انتشار عدم قطعیت شدت می‌یابد. در چنین سیستم تولیدی پیچیده در شرایط عدم قطعیت، سؤال‌های مطرح‌شده توسط برنامه‌ریزان عبارت‌اند از: ۱. بهترین سطح خدمت برای زنجیره تأمین مستقیم محصول و خدمات پس از فروش؛ ۲. میزان قابلیت اطمینان تسهیلات زنجیره تأمین برای پشتیبانی از سطح خدمت مدنظر؛ ۳. میزان جریان کالا در زنجیره با هدف حفظ قابلیت اطمینان جریان؛ ۴. بهترین استراتژی‌های بازاریابی برای شرکت؛ ۵. همبستگی میان استراتژی‌های بازاریابی.

**مدل ریاضی پیشنهادی.** در ادامه مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل ریاضی معرفی شده است.

**مجموعه‌ها.**  $S, M, R, N, T, SL, W, SI, S2^{(sl)}$  و  $S^{(m)}$ : به ترتیب مجموعه تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، خرده‌فروشان، قطعات، مسیرها، سناریوهای سطوح خدمت و تأمین‌کنندگان قطعه  $n$ .  
 $T^{(s)}, T^{(m)}$  و  $T^{(r)}$ : به ترتیب مجموعه مسیرهای بالقوه آغازشده از تأمین‌کننده  $s$ ، گذرنده از تولیدکننده  $m$  و ختم‌شده به خرده‌فروش  $r$ .

#### پارامترها.

$D_r(sl_p, sl_a, w, p)$  و  $\bar{D}_r(sl_p, sl_a, w, p)$ : به ترتیب تابع تقاضا و متوسط تقاضا برای خرده‌فروش  $r$ .  
 $\varepsilon_r$  و  $G_r(\cdot)$ : به ترتیب متغیر تصادفی نشان‌دهنده بخش غیرقطعی تقاضای خرده‌فروش  $r$  و تابع توزیع تجمعی آن.  
 $D_{s,t|s \in}(x_t), D_{m,t|m \in}(x_t), G'_{m,t}(\cdot)$  و  $G'_{s,t}(\cdot)$ : به ترتیب میزان محصولات نامنطبق تولیدشده توسط تولیدکننده  $m$  و تأمین‌کننده  $s$  و توابع توزیع تجمعی آن‌ها.

$z'_\alpha$ : مقدار تابع توزیع نرمال استاندارد برای احتمال .  
 $a^s_1, ma^s_2, a^s_2, ma^s_2, a^m, a^s_{sm}, a^s_{mr}, a^s_{sr}$ : به ترتیب میانگین و انحراف از میانگین هزینه خرید و تولید واحد کالا در تأمین کننده  $s$ ، تولید در تولیدکننده  $m$ ، حمل و نقل بین تأمین کننده  $s$  و تولیدکننده  $m$  تولیدکننده  $m$  و خرده فروش  $r$  و تأمین کننده  $s$  و خرده فروش  $r$ .  
 $bud1_s$  و  $bud2_s$ : بودجه‌های عدم قطعیت هزینه‌های تأمین واحد کالا در تأمین کننده  $s$ .  
 $h^+_r$  و  $h^-_r$ : به ترتیب هزینه نگهداری موجودی مازاد و کمبود موجودی در پایان هر دوره.  
 $\beta_m, \mu_s, \gamma_s, PR_s$  و  $\theta_n$ : به ترتیب، حداکثر نرخ تولید محصول نامنطبق در تولیدکننده  $m$  متوسط کاهش ظرفیت، نرخ تولى قطعات نامنطبق و نرخ تولید در تأمین کننده  $s$  و قابلیت اطمینان قطعه  $n$ .  
 $f_n(\cdot)$  و  $F_n^{(m)}(\cdot)$ : به ترتیب تابع توزیع چگالی و تجمعی خرابی قطعه  $n$  و تابع توزیع تجمعی کل زمان  $m$  تأمین خرابی قطعه  $n$ .  
 $p$  و  $\lambda_n$  و  $cr_n$ : به ترتیب قیمت محصول، تعداد خرابی قابل تعمیر قطعه  $n$  و هزینه تعمیر آن.  
 $Num_n(w)$ ،  $AD_n(w)$  و  $VD_n(w)$ : به ترتیب تعداد خرابی تصادفی، تعداد و واریانس جایگزینی آن در محصول در دوره خدمات پس از فروش.  
 $D_t^m$  و  $\Pi_r$ : به ترتیب تقاضای بازار خدمات پس از فروش قطعه  $n$  و کل هزینه خرده فروش  $r$  در پایان هر دوره.

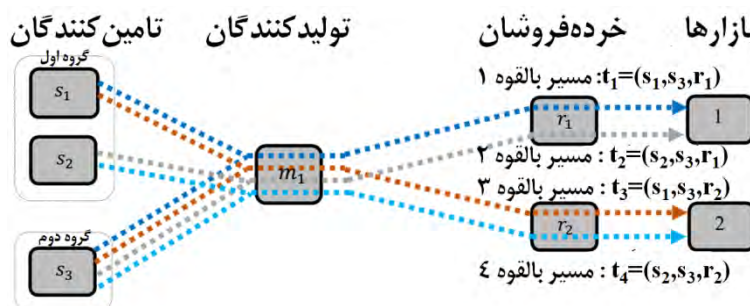
**متغیرها.**  $z_{sl}$  و  $v_w$ : به ترتیب متغیر باینری نشان دهنده انتخاب مسیر  $t$ ، انتخاب سطح خدمت  $sl$  و دوره خدمات پس از فروش  $w$ .  
 $x_t$ ،  $\Delta x_t$ ،  $\Delta x'_t$  و  $x_t^{(n)}$ : به ترتیب جریان محصول، تولید اضافی توسط تولیدکننده و تأمین کننده و جریان قطعه  $n$  در مسیر  $t$ .  
 $rl_s$ ،  $rl_m$  و  $rl_r$ : قابلیت اطمینان تأمین کننده  $s$ ، تولیدکننده  $m$  و خرده فروش  $r$ .  
 $Pro1_s$ ،  $Zro1_s$ ،  $(Zro2_s)$  و  $Xro1_s$ : به ترتیب متغیرهای مکمل اول، دوم و سوم برای مدل همتای استوار به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت هزینه تأمین کالا.  
شکل ۱ یک ساختار شماتیک از زنجیره تأمین مورد بررسی را نمایش می‌دهد. محصول مدنظر دارای دو قطعه اصلی است. قطعه نخست توسط گروه اول تأمین کنندگان شامل تأمین کننده اول و دوم و قطعه دوم نیز توسط گروه دوم تأمین کنندگان تنها شامل سومین تأمین کننده تأمین می‌شود. جریان قطعات از تأمین کنندگان آغاز و در تولیدکننده پس از موتناژ تبدیل به جریان محصول نهایی شده که در نهایت با انتقال به خرده فروشان، تقاضای مشتریان را پاسخ می‌دهد. در ساختار زنجیره تأمین مستقیم، چند مسیر بالقوه برای پاسخگویی به تقاضای

بازار وجود دارد. در شکل ۱، هر مسیر از یک تأمین‌کننده برای هر قطعه آغاز شده و با گذر از تولیدکننده در میانه راه تنها به یک خرده‌فروش ختم می‌شود. به دلیل استفاده از مفهوم مسیر در مدل‌سازی مسئله مورد بررسی، این رویکرد می‌تواند بدون تغییر برای انواع دیگر از شبکه‌های زنجیره تأمین نیز توسعه یابد. هر مسیر در شکل ۱ (نمایش ۴ مسیر بالقوه) با توجه به سطوح تشکیل‌دهنده آن از سه جز تشکیل شده است. جز نخست و دوم آن به ترتیب گروه اول و دوم تأمین‌کنندگان است. به دلیل حضور تنها یک تولیدکننده، نیازی به ذکر آن در عنوان مسیر نیست (ذکر نام در صورت حضور چند تولیدکننده). جز سوم هر مسیر نشان‌دهنده خرده‌فروش است. بهترین این مسیرها با توجه به معیار سودآوری برای تولید محصول و ارائه آن به بازارها انتخاب می‌شود. محصولات این زنجیره تأمین با قیمت و دوره خدمات پس‌ازفروش معین بدون دریافت هزینه به مشتریان عرضه می‌شود. محصولات ارائه‌شده به مشتریان با یک نرخ تصادفی به دلیل بروز ایرادات کیفی به خرده‌فروشان برگشت داده می‌شوند و قطعات معیوب تعمیر می‌شوند. این قطعات یدکی توسط تأمین‌کنندگان زنجیره تأمین در اختیار خرده‌فروشان از طریق مسیرهای بالقوه قرار می‌گیرند. برای نمونه، اگر مسیر بالقوه اول در شکل ۱ به عنوان مسیر فعال برای انتقال قطعات با حجم جریان  $x_{t_1}$  انتخاب شود، میزان قطعات اول و دوم مورد نیاز برای تعمیر  $x_{t_1}$  محصول به ترتیب برابر است با  $x_{t_1}^{(n_1)}$  و  $x_{t_1}^{(n_2)}$  و توسط تأمین‌کنندگان مسیر یک  $(t_1)$  شامل  $S_1$  و  $S_3$  برای خرده‌فروش نهایی مسیر  $(r_1)$  انتقال می‌یابد (شکل ۲)؛ در نتیجه با تعیین مسیر مستقیم در زنجیره تأمین و مقادیر جریان، مسیر فعال برای زنجیره تأمین خدمات پس‌ازفروش و جریان آن نیز مشخص می‌شود. در این مسئله، عدم قطعیت تقاضا و عرضه با لحاظ نمودن تقاضای تصادفی در گره‌های تقاضا و عملکرد تصادفی در تسهیلات تأمین و تولید به دلیل امکان بروز خرابی در سیستم‌های آن‌ها در نظر گرفته شده است. وجود عدم قطعیت در سطوح مختلف زنجیره تأمین منجر به انتشار عدم قطعیت در مسیرهای فعال می‌شود که لحاظ نمودن آن تأثیر مهمی بر تعیین سطح پاسخ زنجیره‌های تأمین محصول نهایی و خدمات پس‌ازفروش دارد (شکل ۲).

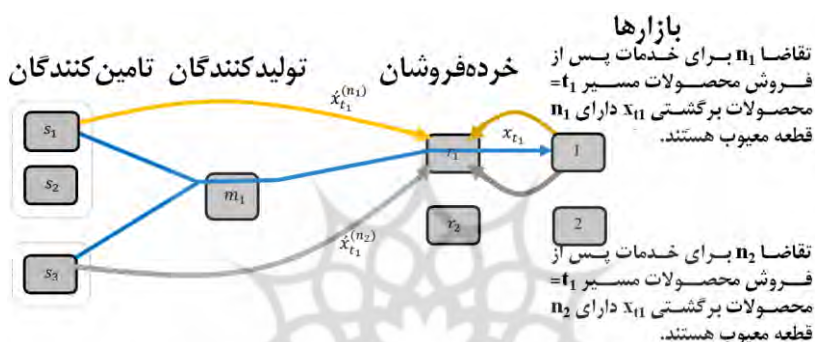
**انتشار عدم قطعیت در زنجیره تأمین مستقیم.** سطح خدمت زنجیره تأمین محصول نهایی و خدمات پس‌ازفروش نشان‌دهنده قابلیت اطمینان کل شبکه زنجیره تأمین در برابر عدم قطعیت‌ها و انتشار آن‌ها است. سطح خدمت نشان‌دهنده توانایی زنجیره تأمین در ایجاد تعادل بین تقاضا و عرضه وابسته به قابلیت اطمینان تسهیلات است. محصولات نهایی در هر مسیر شبکه تولید و به همراه قطعات یدکی به بازار عرضه می‌شوند. هر مسیر محصولات نهایی شامل خرده‌فروش، تولیدکننده و تأمین‌کنندگان و هر مسیر خدمات پس‌ازفروش شامل یک خرده‌فروش و یک



تأمین‌کننده به ازای هر قطعه است (شکل ۲). فرآیند کمی‌سازی انتشار عدم‌قطعیت در هر مسیر از عدم‌قطعیت در آخرین سطح آغاز شده و تا سطوح بالایی ادامه می‌یابد.



شکل ۱. مسیرهای بالقوه در دسترس در ساختار زنجیره نمونه مورد بررسی



شکل ۲. ارائه خدمات پس از فروش عرضه‌شده توسط مسیر فعال

**مدیریت عدم‌قطعیت در سطح خرده‌فروشان.** جایگاه شرکت در بازار با توجه به سطوح خدمت در زنجیره‌های تأمین محصول نهایی و خدمات پس از فروش، دوره خدمات پس از فروش و قیمت خرده‌فروشی تعیین می‌شود. متوسط تقاضای محصول هر بازار در هر دوره یک تابع صعودی نسبت به سطح خدمت و دوره خدمات پس از فروش و یک تابع نزولی نسبت به قیمت است. تقاضای واقعی مشتریان غیرقطعی است و با توجه به یافته‌های پژوهشگران [۳۵]، تابع تصادفی تقاضا در بازار به صورت رابطه ۱ است.

$$D_r(sl_p, sl_a, w, p) = \varepsilon_r \times \bar{D}_r(sl_p, sl_a, w, p) \quad (1)$$

در رابطه ۱،  $\varepsilon_r$  یک متغیر تصادفی پیوسته با تابع توزیع تجمعی  $G_r(\varepsilon_r)$  و مستقل از سطح خدمت، دوره خدمات پس از فروش و قیمت خرده‌فروشی است. هر خرده‌فروش در هر دوره محصولات موردنیاز خود را به تولیدکنندگان سفارش می‌دهد. این محصولات توسط مسیرهای

فعال ختم‌شده به آن خرده‌فروش در آغاز دوره تأمین می‌شوند. امکان تأمین محصول در طول دوره و یا پس از درک تقاضا وجود ندارد. تقاضای بازار  $r$  تصادفی با تابع توزیع تجمعی  $G_r(\cdot)$  است. بروز کمبود و مازاد موجودی در هر دوره دارای هزینه است. با توجه به قابلیت اطمینان خرده‌فروش، میزان سفارش محصول توسط خرده‌فروش با توجه به هدف حداقل کردن هزینه‌های کل در پایان دوره تعیین می‌شود. میزان سفارش محصول برای خرده‌فروش  $r$  برابر است با:

$$\text{Min } \Pi_r = \left( \begin{array}{l} h_r^+ \cdot E \left[ \sum_{T(r)} x_t - D_r(sl_p, sl_a, w, p) \right]^+ \\ + h_r^- \cdot E \left[ D_r(sl_p, sl_a, w, p) - \sum_{T(r)} x_t \right]^+ \end{array} \right) \quad (2)$$

$$\text{Pr} \left[ D_r(sl_p, sl_a, w, p) \leq \sum_{T(r)} x_t \right] \geq rl_r \quad (3)$$

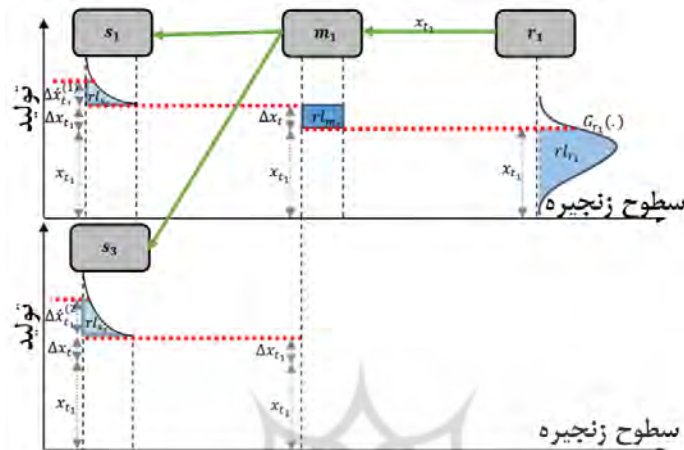
عبارت‌های نخست و دوم تابع هدف ۲ به ترتیب نشان‌دهنده تابع انتظاری هزینه‌های نگهداری موجودی اضافی و کمبود موجودی در پایان دوره برای هر خرده‌فروش است؛ در نتیجه، هدف عبارت است از حداقل کردن هزینه کل خرده‌فروش (شکل ۳) و بدون لحاظ محدودیت ۳ منجر می‌شود  $\sum_{T(r)} x_t = \bar{D}_r(sl_p, sl_a, w, p) G_r^{-1} \left( \frac{h_r^-}{h_r^- + h_r^+} \right)$ ؛ همچنین با توجه به قابلیت اطمینان خرده‌فروش،  $\sum_{T(r)} x_t \geq \bar{D}_r(sl_p, sl_a, w, p) G_r^{-1}(rl_r)$ ؛ در نتیجه مقدار بهینه میزان سفارش برابر است با  $\sum_{T(r)} x_t = \bar{D}_r(sl_p, sl_a, w, p) G_r^{-1} \left( \max \left\{ rl_r, \frac{h_r^-}{h_r^- + h_r^+} \right\} \right)$  که میان مسیرهای فعال ختم‌شده به خرده‌فروش توزیع می‌شود.

**مدیریت عدم قطعیت در سطح تولیدکننده.** تقاضای هر مسیر توسط تولیدکننده آن تأمین می‌شود. مسیر  $t$  از تولیدکننده  $m$  می‌گذرد و تولیدکننده باید میزان  $x_t$  واحد محصول باکیفیت را تولید کند؛ در حالی که ظرفیت تولید به دلیل امکان بروز خرابی در سیستم و مواجهه با کاهش تولید و یا تولید محصول بی کیفیت، با عدم قطعیت همراه است و تولیدکننده باید محصول مازاد تولید کند. این میزان تولید به عدم قطعیت تولیدکننده وابسته است و باید به قدری باشد که تولیدکننده با احتمال مشخص، اطمینان به پاسخگویی به تقاضای تخصیص داده شده را داشته باشد.

$$\text{Pr}(D_{mt} \leq \Delta x_t) = rl_m \rightarrow \Delta x_t = G_{mt}^{-1}(rl_m) \quad (4)$$

نرخ تولید محصولات معیوب تولیدکننده  $m$  یک متغیر تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه  $[0, \beta_m]$  است. به منظور حفظ قابلیت اطمینان، تولیدکننده برای تولید  $x_t + \Delta x_t$  واحد محصول برای مسیر  $t$  برنامه‌ریزی می‌کند (رابطه ۵).

$$\Pr(\alpha_m x_t \leq \Delta x_t) = \Pr\left(\alpha_m \leq \frac{\Delta x_t}{x_t}\right) = r_l m \rightarrow \Delta x_t = r_l m \cdot \beta_m x_t \quad (5)$$



شکل ۳. انتشار عدم قطعیت در مسیر  $t_1$  شامل  $(s_1, s_3, r_1)$  متعلق به زنجیره تأمین مستقیم

**مدیریت عدم قطعیت در سطح تأمین کنندگان.** تأمین کننده  $s$  در مسیر فعال  $t$  قرار دارد و سفارش برای دریافت قطعات به میزان  $x_t + \Delta x_t$  را دریافت می‌کند. ظرفیت تأمین کنندگان غیرقطعی بوده و نیاز به تأمین قطعات مازاد وابسته به قابلیت اطمینان آن است. تأمین مازاد، اطمینان با احتمال مشخص برای تأمین کننده برای پاسخگویی به تقاضای تولیدکننده را ایجاد می‌کند؛ بنابراین احتمال تولید محصول بی کیفیت و یا مواجه با کمبود قطعات مورد نیاز کمتر از سطح مازاد برای پاسخگویی به تقاضای تولیدکننده برابر با قابلیت اطمینان است.

$$\Pr(D_{st} \leq \Delta x_t^{(s)}) = r_s \rightarrow \Delta x_t^{(s)} = G_{st}^{-1}(r_s) \quad (6)$$

تأمین کننده با تولید محصولات معیوب و یا نرخ تولید کمتر از توان مواجه است؛ در نتیجه در طی یک مدت زمان تصادفی، نرخ محصولات معیوب یا کمبود مشخص است. زمان خرابی تسهیل تأمین کننده دارای تابع توزیع نمایی با میانگین  $\frac{1}{\mu_s}$  است. برای پاسخ به تقاضای دریافت شده برای قطعات در مسیر  $t$ ، قطعه مازاد تأمین می‌شود. با در نظر گرفتن نرخ تأمین،

واحد زمانی برای تأمین مورد نیاز صرف می‌شود. قابلیت اطمینان هر تأمین‌کننده برابر است با احتمال اینکه میزان تولید محصولات بی کیفیت و یا مواجهه با کمبود قطعات در طی دوره کمتر از قطعات مازاد باشد؛ همچنین تأمین‌کننده  $s$  با احتمال  $rl_s$  اطمینان دارد که می‌تواند به سفارش تولیدکننده پاسخ دهد. با موجودی اضافی، تأمین‌کنندگان مسیر  $t$  در لایه نخست اطمینان دارند که با احتمال  $\prod_{(\forall s \in I)} rl_s$  می‌توانند تمامی سفارش قطعات تولیدکنندگان را برآورده کنند. تولیدکننده با تولید محصول مازاد با احتمال  $rl_m$  اطمینان دارد که می‌تواند تقاضای خرده‌فروش هر مسیر را پاسخ دهد. با سفارش  $x_t$  واحد محصول از این مسیر، خرده‌فروش با احتمال  $rl_r$  اطمینان دارد که می‌تواند به میزان نسبت  $x_t$  بر  $\sum_{T(r)} x_t$  از تقاضای بازار خدمات پس‌ازفروش در دوره را پاسخ دهد. قابلیت اطمینان کل مسیر  $t$  برابر با  $\left(\prod_{(\forall s \in I)} rl_s\right) \times rl_m \times rl_r$  است. تقاضای محصولات نهایی هر بازار و خرده‌فروش می‌تواند توسط تمامی مسیرهای فعال ختم‌شده به خرده‌فروش برآورده شود. خرده‌فروش  $r$  با احتمال  $\prod_{(\forall t \in I(r))} \left[ \left( \left( \prod_{(\forall s \in I)} rl_s \right) \times rl_m \times rl_r \right) \cdot y_t + (1 - y_t) \right]$  اطمینان دارد که تقاضای بازار مربوطه در دوره آتی قابل پاسخگویی است در نتیجه سطح خدمت برای ارائه محصولات نهایی مورد نیاز خرده‌فروش برابر با  $\prod_{(\forall t \in I(r))} \left[ \left( \left( \prod_{(\forall s \in I)} rl_s \right) \times rl_m \times rl_r \right) \cdot y_t + (1 - y_t) \right]$  است.

$$rl_s = \Pr \left[ PR_s \cdot t + (1 - \gamma_s) \cdot PR_s \cdot \left( \frac{\Delta x_t^{(s)} + \Delta x_t + x_t}{PR_s} - t \right) \geq \Delta x_t + x_t \right] =$$

$$\Pr \left[ t \geq \left( \frac{\Delta x_t + x_t}{PR_s} \right) - \left( \frac{1 - \gamma_s}{\gamma_s \cdot PR_s} \right) \cdot \left( \Delta x_t^{(s)} \right) \right] = EXP \left[ -\mu_s \cdot \left( \left( \frac{\Delta x_t + x_t}{PR_s} \right) - \left( \frac{1 - \gamma_s}{\gamma_s \cdot PR_s} \right) \cdot \left( \Delta x_t^{(s)} \right) \right) \right] \quad (7)$$

$$\rightarrow \Delta x_t^{(s)} = \frac{\gamma_s}{1 - \gamma_s} \left[ \frac{PR_s}{\mu_s} \ln(rl_s) + (\Delta x_t + x_t) \right]$$

**انتشار عدم قطعیت در زنجیره تأمین خدمات پس‌ازفروش.** خدمات پس‌ازفروش برای محصولات تأمین‌شده توسط هر مسیر به بازار باید توسط آن مسیر تأمین شود. نخستین گام در برنامه‌ریزی جریان شبکه خدمات پس‌ازفروش برای چند دوره، پیش‌بینی میزان قطعات مورد نیاز است. پس از تعیین جریان خدمات پس‌ازفروش در هر مسیر، این جریان تحت تأثیر انتشار عدم قطعیت در طول مسیر (از سطح انتهایی به سطح ابتدایی) قرار می‌گیرد.

پیش‌بینی میزان سفارشات قطعات یدکی توسط هر خرده‌فروشی. فرض می‌شود که میزان  $x_t$  واحد از محصولات نهایی توسط مسیر فعال  $t$  برای خرده‌فروش  $r$  تأمین می‌شود. میزان قطعه موردنیاز برای تعمیر محصولات معیوب برگشت داده‌شده از سوی مشتریان در طی دوره خدمات پس‌ازفروش برابر با تقاضای دریافت خدمات پس از فروش برای مسیر  $t$  است. میزان تقاضای خدمات پس‌ازفروش به میزان محصول نهایی تأمین‌شده، دوره خدمات پس‌ازفروش و قابلیت اطمینان قطعات بستگی دارد. عملکرد قطعات محصول از یکدیگر مستقل بوده و زمان خرابی قطعه یک متغیر تصادفی با تابع چگالی و تجمعی مشخص است. تعداد  $\lambda_n$  خرابی نخست از قطعه  $n$  قابل تعمیر است؛ اما تعویض آن با یک قطعه جدید اقتصادی‌تر است. رفتار بروز خرابی قطعه پس از تعمیر تغییر نمی‌کند؛ در نتیجه قطعات جدید و تعمیرشده دارای رفتار خرابی یکسان هستند. توابع  $F_n^{(m)}$  و  $Num_n(w)$  نشان‌دهنده تابع توزیع تجمعی زمان کل تا وقوع  $m$  امین خرابی و متوسط تعداد خرابی‌های قطعه  $n$  در بازه  $[0, w]$  است؛ در این صورت:

$$\Pr\{Num_n(w) = m\} = F_n^{(m)}(w, \theta_n) - F_n^{(m+1)}(w, \theta_n) \quad \forall n \in N \quad (8)$$

متوسط و پراکندگی تعداد قطعات موردنیاز برای تعمیر هر محصول در دوره خدمات پس‌ازفروش، برابر است با (۹) و (۱۰).

$$AD_n(w, \theta_n, \lambda_n) = \sum_{m=\lambda_n+1}^{+\infty} F_n^{(m)}(w, \theta_n) \quad \forall n \in N \quad (9)$$

$$VD_n(w, \theta_n, \lambda_n) = \sum_{m=\lambda_n+1}^{+\infty} [2 \cdot (m - \lambda_n) - 1] \cdot F_n^{(m)}(w, \theta_n) - \left[ \sum_{m=\lambda_n+1}^{+\infty} F_n^{(m)}(w, \theta_n) \right]^2 \quad \forall n \in N \quad (10)$$

با استفاده از قضیه حد مرکزی، تعداد قطعه  $n$  موردنیاز برای بازار خدمات پس‌ازفروش در مسیر  $t$  با تقاضای  $D_t^n$  دارای تابع توزیع نرمال (۱۱) بوده و میزان تعداد قطعات  $n$  سفارش داده‌شده توسط خرده‌فروش  $r$  از مسیر  $t$  برابر است با (۱۲).

$$D_t^n \square Normal \left( \mu_{D_t^n} = x_t \cdot AD_n(w, \theta_n, \lambda_n), \sigma_{D_t^n}^2 = x_t \cdot VD_n(w, \theta_n, \lambda_n) \right) \quad \forall n \in N; \forall t \in T \quad (11)$$

$$x_t^{(n)} = x_t \cdot AD_n(w, \theta_n, \lambda_n) + (z'_{n,r} \cdot \sqrt{x_t \cdot VD_n(w, \theta_n, \lambda_n)}) \quad \forall n \in N \quad (12)$$

با سفارش تعداد  $x_t^{(n)}$  واحد از قطعه  $n$ ، خرده‌فروش اطمینان دارد با احتمال  $rI_r$  می‌تواند تقاضای خدمات پس‌ازفروش برای قطعه  $n$  در مسیر  $t$  را پاسخ دهد. خرده‌فروش  $r$  نه تنها محصول نهایی

را به میزان  $x_t$  به تولیدکننده سفارش می‌دهد؛ بلکه میزان مازاد از قطعه  $n$  را از تأمین‌کنندگان وابسته به مسیر فعال مربوطه دریافت می‌کند. تأمین‌کننده  $s$  سفارش دریافت قطعه به تعداد  $\Delta x_t + x_t$  را از تولیدکننده و سفارش به میزان  $x_t^{(n)}$  را از خرده‌فروش دریافت می‌کند. تأمین‌کننده  $s$  نیز به منظور مقابله با عدم قطعیت ظرفیت به تولید  $x_t^{(s)}$  قطعه اضافی اقدام می‌کند.

$$\begin{aligned} r_l s &= \Pr \left[ PR_s t + (1 - \gamma_s) \cdot PR_s \cdot \left( \frac{\Delta x_t^{(s)} + x_t^{(n)} + \Delta x_t + x_t}{PR_s} - t \right) \geq x_t^{(n)} + \Delta x_t + x_t \right] \quad (13) \\ &= \Pr \left[ t \geq \left( \frac{x_t^{(n)} + \Delta x_t + x_t}{PR_s} \right) - \left( \frac{1 - \gamma_s}{\gamma_s \cdot PR_s} \right) \cdot \left( \Delta x_t^{(s)} \right) \right] = \text{EXP} \left[ -\mu_s \cdot \left( \frac{x_t^{(n)} + \Delta x_t + x_t}{PR_s} \right) \right] \\ &= \text{EXP} \left[ -\mu_s \cdot \left( \frac{1 - \mu_s}{\gamma_s \cdot PR_s} \right) \cdot \left( \Delta x_t^{(s)} \right) \right] \rightarrow \Delta x_t^{(s)} = \frac{\gamma_s}{1 - \gamma_s} \left[ \frac{PR_s}{\mu_s} \ln(r_l s) + \left( x_t^{(n)} + \Delta x_t + x_t \right) \right] \end{aligned}$$

**عملکرد تأمین‌کنندگان در شبکه خدمات پس از فروش.** با تولید مازاد، تأمین‌کننده  $s$  احتمال  $r_l s$  اطمینان به پاسخ به تقاضای محصول نهایی و خدمات پس از فروش دارد. با سفارش  $x_t^{(n)}$  واحد قطعه  $n$  از تأمین‌کننده، خرده‌فروش اطمینان دارد با احتمال  $r_l r$  به تقاضای خدمات پس از فروش پاسخ می‌دهد؛ در نتیجه نرخ پاسخگویی به تقاضای قطعه  $n$  در مسیر  $t$  برابر با حاصل ضرب  $r_l s$  و  $r_l r$  است. تعداد  $n$  قطعه در هر محصول وجود دارد که نرخ پاسخگویی به تقاضای تمامی قطعات در مسیر  $t$  برابر است با

$$\prod_{(\forall n \in N, s \in S^{(n)} | s \in t)} (r_l s, r_l r) = (r_l r)^{|N|} \cdot \prod_{(\forall n \in N, s \in S^{(n)} | s \in t)} r_l s$$

خرده‌فروش  $r$  توسط تمامی مسیرهای فعال ختم‌شده به آن پاسخ داده می‌شود. سطح خدمت برای خرده‌فروش  $r$  برابر است با:

$$\prod_{(\forall t \in T(r))} \left[ \left( (r_l r)^{|N|} \cdot \prod_{(\forall n \in N, s \in S^{(n)} | s \in t)} r_l s \right) \cdot y_t + (1 - y_t) \right].$$

**برنامه‌ریزی همزمان جریان در زنجیره تأمین محصولات نهایی و خدمات پس از فروش.** در این بخش یک مدل ریاضی جامع برای انتخاب بهترین استراتژی‌های بازاریابی و برنامه‌ریزی جریان پویا در سطح شبکه زنجیره تأمین با لحاظ نمودن قابلیت اطمینان تسهیلات و با هدف حداکثر کردن سود خالص شرکت ارائه شده است. برای این منظور در این مسئله یک مجموعه جدید شامل تمامی انتخاب‌ها برای دوره‌های خدمات پس از فروش و سطوح خدمت در دو زنجیره محصول نهایی و خدمات پس از فروش تعریف می‌شود. نخستین عبارت تابع هدف ۱۴،

نشان‌دهنده سود حاصل از ارائه محصولات نهایی به بازار است که دربردارنده تفاضل عایدی و هزینه‌های نگهداری، کمبود و مازاد موجودی در پایان هر دوره است. دومین عبارت، مجموع هزینه‌های تأمین است. هزینه‌های تولید در سومین عبارت لحاظ شده است. چهارمین، پنجمین و ششمین عبارات نیز هزینه‌های حمل‌ونقل قطعات بین تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان، حمل‌ونقل محصولات نهایی بین تولیدکنندگان و خرده‌فروشان و حمل‌ونقل قطعات بین تأمین‌کنندگان و خرده‌فروشان را محاسبه می‌کنند. دو عبارت پایانی نیز عدم قطعیت پارامتر هزینه‌های تأمین را نشان می‌دهند. هدف نهایی تابع ۱۴ حداکثرکردن سود خالص کل زنجیره تأمین است. محدودیت‌های خطی ۱۵ تا ۱۸ با توجه به مدل هم‌تای استوار مبتنی بر مدل برنامه‌ریزی استوار بودجه‌ای برای نمایش عدم قطعیت هزینه تأمین قطعات اصلی در نظر گرفته شده است. محدودیت ۱۹ تضمین می‌کند که تنها یک استراتژی خدمات پس‌ازفروش توسط شرکت می‌تواند انتخاب شود. محدودیت ۲۰ مقید می‌کند که تنها یک مسیر برای پاسخگویی به تقاضای هر بازار فعال شود. محدودیت ۲۱ برقراری جریان تنها در مسیر فعال شده را ممکن می‌سازد. با توجه به محدودیت ۲۲، مجموع جریان محصولات در حال عبور از مسیرها و ختم‌شده به هر خرده‌فروش برابر با تقاضای حاضر در بازار برای محصول نهایی است. محدودیت ۲۳ میزان جریان موردنیاز را در تسهیل تولیدکنندگان نشان می‌دهد. محدودیت ۲۴ میزان قطعات موردنیاز برای هر مسیر به منظور پاسخگویی به تقاضای بازار خدمات پس‌ازفروش را نشان می‌دهد. محدودیت ۲۵ جریان موردنیاز با توجه به عدم قطعیت ظرفیت تأمین‌کنندگان را نشان می‌دهد. محدودیت‌های ۲۶ و ۲۷ تضمین می‌کنند که قابلیت اطمینان هر تسهیل سطح خدمت مربوط به بازار محصولات نهایی و خدمات پس‌ازفروش را پاسخ می‌دهد.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \sum_{R,W,SL} v_w \cdot z_{sl} \cdot \bar{D}_r (sl_p, sl_a, w, p) \cdot \left[ \begin{aligned} & p - h_r^+ \cdot E \left( G_r^{-1} \left( \text{Max} \left\{ rI_r, \frac{h_r^-}{h_r^+ + h_r^-} \right\} \right) - \varepsilon_r \right)^+ \\ & - h_r^- \cdot E \left( \varepsilon_r - G_r^{-1} \left( \text{Max} \left\{ rI_r, \frac{h_r^-}{h_r^- + h_r^+} \right\} \right) \right)^+ \end{aligned} \right] \\
 & - \sum_{N,S^{(n)},T^{(s)}} (a_1^s + a_2^s) \cdot \left[ x_t + \Delta x_t + x_t^{(n)} + \Delta x_t^{(s)} \right] - \sum_{M,T^{(m)}} a^m \cdot (x_t + \Delta x_t) \\
 & - \sum_{S,M,T^{(m)},T^{(r)}} a_{mr}^t \cdot x_t - \sum_{N,S^{(n)},R,T^{(s)},T^{(r)}} a_{sr}^t \cdot x_t^{(n)} - \sum_s \text{Zro}1_s \times bud1_s - \sum_s \text{Zro}2_s \times bud2_s
 \end{aligned} \tag{14}$$

$$-\text{Zro}1_s - \text{Pro}1_s \geq ma_1^s \times \left( x_t + \Delta x_t + x_t^{(n)} + \Delta x_t^{(s)} \right) \quad \forall s \tag{15}$$

$$-\left(x_t + \Delta x_t + x_t^{(n)} + \Delta x_t^{(s)}\right) \leq Xro1_s \leq \left(x_t + \Delta x_t + x_t^{(n)} + \Delta x_t^{(s)}\right) \quad (16)$$

$$-Zro2_s - Pro2_s \geq ma_2^s \times \left(x_t + \Delta x_t + x_t^{(n)} + \Delta x_t^{(s)}\right) \quad \forall s \quad (17)$$

$$-\left(x_t + \Delta x_t + x_t^{(n)} + \Delta x_t^{(s)}\right) \leq Xro2_s \leq \left(x_t + \Delta x_t + x_t^{(n)} + \Delta x_t^{(s)}\right) \quad (18)$$

$$\sum_w v_w = 1 \quad (19)$$

$$\sum_{T^{(r)}} y_t \geq 1 \quad \forall r \in R \quad (20)$$

$$x_t \leq BM \cdot y_t \quad \forall t \in T \quad (21)$$

$$\sum_{T^{(r)}} x_t = \left[ \sum_{W, SL} v_w \cdot z_{sl} \cdot \bar{D}_r(sl_p, sl_a, w, p) \right] G_r^{-1} \left( \text{Max} \left\{ rl_r, \frac{h_r^-}{h_r^- + h_r^+} \right\} \right) \quad \forall r \in R \quad (22)$$

$$\Delta x_t = G_{mt}^{-1}(x_t, rl_m) \cdot y_t \quad \forall t \in T, m \in t \quad (23)$$

$$x_t^{(n)} = x_t \cdot AD_n(w, \theta_n, \lambda_n) + z_{rl_r} \cdot \sqrt{x_t \cdot VD_n(w, \theta_n, \lambda_n)} \quad \forall t \in T, n \in N \quad (24)$$

$$x_t^{(s)} = G_{st}^{n-1} \left( x_t + \Delta x_t + x_t^{(n)}, rl_s \right) \cdot y_t \quad \forall t \in T, n \in N, s \in t, s \in S^{(n)} \quad (25)$$

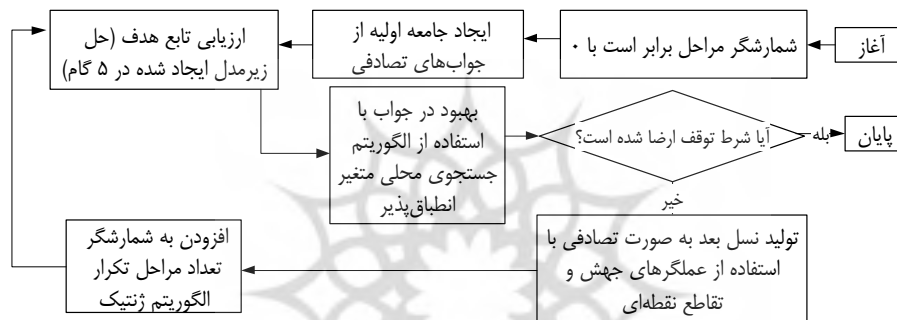
$$\sum_{SL} z_{sl} \cdot sl_p = \prod_{\forall r \in R} \left[ \left( \prod_{\forall s \in t} rl_s \right) \times rl_m \times rl_r \right] \cdot y_t + (1 - y_t) \quad \forall r \in R \quad (26)$$

$$\sum_{SL} z_{sl} \cdot sl_a = \prod_{\left( \forall t \in T^{(r)} \right)} \left[ \left( rl_r \right)^{|N|} \cdot \prod_{\left( \forall n \in N, s \in S^{(n)} | s \in t \right)} rl_s \right] \cdot y_t + (1 - y_t) \quad \forall r \in R \quad (27)$$

**الگوریتم حل پیشنهادی.** حل مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط ارائه شده به دلیل وجود عبارت‌های غیرخطی به‌ویژه عبارت‌های مربوط به توابع چگالی و تجمعی مربوط به متغیرهای تصادفی با استفاده از روش‌های حل دقیق معمول، امکان‌پذیر نیست؛ از این‌رو در این مقاله یک الگوریتم حل فراابتکاری کارا برای حل مدل پیشنهادی ارائه شده است. در این بخش، با توجه به ماهیت حل مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین که از نوع مسائل با پیچیدگی بسیار زیاد است، یک روش حل فراابتکاری مبتنی بر الگوریتم ممبیک ارائه شده است. نتایج اجرای الگوریتم ژنتیک طی سال‌های اخیر روی مجموعه وسیعی از مسائل برنامه‌ریزی شبکه زنجیره تأمین در ابعاد بزرگ، حاکی از برتری نسبی این الگوریتم در مقایسه با سایر الگوریتم‌های تحولی است. با وجود قدرت الگوریتم ژنتیک به عنوان یک الگوریتم بهینه‌سازی ترکیبی، این الگوریتم



دارای یک نقطه ضعف از نظر کارایی محدود در قدرت بخشیدن به فرآیند جست‌وجوی محلی است. این نقطه ضعف با معرفی الگوریتم ممیتیک در مبانی نظری موضوع برطرف شده است که از یک فرآیند جست‌وجوی محلی در هر تکرار الگوریتم ژنتیک بهره می‌برد [۱]. در این مطالعه، یک الگوریتم ممیتیک بر پایه الگوریتم ژنتیک و جست‌وجوی محلی متغیر انطباق‌پذیر برای حل مسئله مورد بررسی ارائه شده است. جست‌وجوی فضای جواب توسط الگوریتم ژنتیک انجام می‌شود. بهبود جواب‌ها در هر مرحله از الگوریتم ژنتیک توسط الگوریتم جست‌وجوی محلی متغیر انطباق‌پذیر انجام می‌شود. از الگوریتم ابتکاری تپه‌نورد نیز برای بیشتر عمق بخشیدن به فرآیند جست‌وجوی محلی در الگوریتم جست‌وجوی محلی متغیر انطباق‌پذیر استفاده شده است. ساختار الگوریتم ممیتیک پیشنهاد شده در شکل ۴ نشان داده شده است. هر کروموزوم جواب توسط یک ارائه یک بعدی نمایش داده شده است. اندازه این ارائه عبارت است از «مجموع تعداد سطوح خدمت برای بازار محصولات نهایی و خدمات پس‌ازفروش و دوره خدمات پس‌ازفروش».



شکل ۴. ساختار الگوریتم ممیتیک بر پایه الگوریتم ژنتیک و جست‌وجوی محلی متغیر انطباق‌پذیر

مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط پیشنهادی با جایگذاری مقادیر متغیرهای حاصل از کدگذاری کروموزوم، به یک زیرمسئله برنامه‌ریزی غیرخطی تبدیل و در چهار گام زیر حل می‌شود.

گام ۱. یک مجموعه جدید،  $S1 = \{s1\}$ ، شامل تمامی انتخاب‌های مربوط به مسیرهای ممکن در شبکه زنجیره تأمین برای پاسخگویی به تقاضای بازارها است. بزرگ‌ترین اندازه این مجموعه

$$\text{برابر با } |S1| = \prod_{\forall r \in R} 2^{(T^{(r)}-1)} \text{ است.}$$

گام ۲. برای هر  $s1 \in S1$ ، قابلیت اطمینان تسهیلات با هدف پاسخگویی به سطح خدمت  $sl_p$  برای محصولات نهایی و سطح خدمت  $sl_a$  برای خدمات پس از فروش، تعیین می‌شوند  $S2^{(s1)} = \{s2\}$

$$s2 = \left( r_r^{(s2)} (\forall r \in R), r_m^{(s2)} (\forall m \in M), r_s^{(s2)} (\forall s \in S) \right) \quad (28)$$

تعیین ترکیب قابلیت‌های اطمینان شدنی با تفکیک فواصل پیوسته از قابلیت اطمینان انجام می‌شود. برای نمونه، فرض می‌شود که حداقل مقدار ممکن برای سطح خدمت خدمات پس از فروش و محصولات نهایی به ترتیب برابر با ۷۵ و ۹۰ درصد است. پس از جداسازی فاصله اصلی  $[0.9-1]$  به فواصل کوچک‌تر به اندازه  $0.1$  (فواصل محدود شده اما شدنی)، مجموعه ترکیب‌های شدنی تعیین می‌شوند (شکل ۵).

گام ۳. به ازای تمامی  $\forall s1 \in S1$  و  $\forall s2 \in S2^{(s1)}$ ، مدل خطی زیر با متغیرهای پیوسته حل می‌شود:

$$Cost^{(s1,s2)}(w, sl) = \bar{D}_r(sl, w, p) \cdot \left[ \begin{array}{l} h_r^+ \cdot E \left( G_r^{-1} \left( \text{Max} \left\{ r_r^{(s2)}, \frac{h_r^-}{h_r^+ + h_r^-} \right\} \right) - \varepsilon_r \right)^+ \\ h_r^- \cdot E \left( \varepsilon_r - G_r^{-1} \left( \text{Max} \left\{ r_r^{(s2)}, \frac{h_r^-}{h_r^+ + h_r^-} \right\} \right) \right)^+ \end{array} \right] \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{N, S^{(n)}, T^{(s)}} (a_1^s + a_2^s) \cdot [x_t + \Delta x_t + x_t^{(n)} + \Delta x_t^{(s)}] + \sum_{M, T^{(m)}} a^m \cdot [x_t + \Delta x_t] \\ & + \sum_{S, M, T^{(s)} \cap T^{(m)}} a_{sm}^t \cdot [x_t + \Delta x_t] + \sum_{M, R, T^{(m)} \cap T^{(r)}} a_{mr}^t \cdot x_t + \sum_{N, S^{(n)}, R, T^{(s)} \cap T^{(r)}} a_{sr}^t \cdot x_t^{(n)} \end{aligned}$$

$$\sum_{\forall t \in s1, r \in R} x_t = \bar{D}_r(sl_p, sl_a, w, p) \cdot G_r^{-1} \left( \text{Max} \left\{ r_r^{(s2)}, \frac{h_r^-}{h_r^- + h_r^+} \right\} \right) \quad \forall r \in R \quad (30)$$

$$\Delta x_t = G_m^{-1} (x_t, r_m^{(s2)}) \quad \forall t \in s1 \quad (31)$$

$$x_t^{(n)} = x_t \cdot AD_n(w, \theta_n, \lambda_n) + z_{r_t}^{(s2)} \cdot \sqrt{x_t \cdot VD_n(w, \theta_n, \lambda_n)} \quad \forall t \in s1 \quad (32)$$

$$\Delta x_t^{(s|s \in t, s \in S^{(n)})} = G_{st}^{n-1} (x_t + \Delta x_t + x_t^{(n)}, r_m^{(s2)}) \quad \forall t \in s1, s \in t \quad (33)$$

$$x_t, \Delta x_t, \Delta x_t^{(s)}, x_t^{(n)} \geq 0 \quad \forall t \in s1, s \in \{\forall s \in S | s \in s1\}, \forall n \in N \quad (34)$$

$$MCost(w, sl) = \min_{\forall s1 \in S1} \min_{\forall s2 \in S2^{(s1)}} Cost^{(s1, s2)}(w, sl) \quad (35)$$

گام ۴. حداقل هزینه ممکن برای  $sl = (sl_p, sl_a) \in SL$  و  $w \in W$  توسط رابطه (۳۵) مشخص می‌شود. بهترین مسیر انتخاب شده، تخصیص جریان و قابلیت اطمینان تعیین شده مرتبط با  $Mcost(w, sl)$  به ترتیب با  $X^*(w, sl)$ ،  $Y^*(w, sl)$  و  $RL^*(w, sl)$  نمایش داده می‌شوند. الگوریتم جست‌وجوی همسایگی متغیر انطباق‌پذیر با استفاده از رویکرد سیستماتیک، از میان نه ساختار همسایگی برای جست‌وجوی همسایگی، برترین را بر اساس سابقه عملکرد انتخاب می‌کند. بهبود در جواب بر اثر اعمال ساختار همسایگی مدنظر در تکرارهای قبلی، مبنای سنجش عملکرد و انتخاب خواهد بود. این انتخاب توسط چرخه رولت انجام خواهد شد [۱]. علاقه‌مندان برای آشنایی بیشتر با ساختارهای همسایگی یادشده می‌توانند به پژوهش انجام شده توسط حسنی و همکاران (۱۳۹۴) مراجعه کنند [۱].

#### ۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

نخست، کیفیت جواب‌های حاصل از الگوریتم ممتیک پیشنهادشده در مقایسه با دو الگوریتم فراابتکاری مشابه، بر اساس کیفیت جواب‌ها (مقدار تابع هدف) و زمان حل (برحسب ثانیه) پس از ۱۰ بار اجرای الگوریتم حل، بررسی شده است. در این بخش، نتایج تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش ارائه شده است. برای این منظور، سه مسئله نمونه اصلی و الگوی تولید داده‌ها از مطالعه انجام شده توسط رضایور و همکاران (۲۰۱۵) به عنوان نزدیک‌ترین مسئله مشابه بررسی شده در مبنای نظری موضوع برداشت و توسعه داده شده است [۵] (جدول ۱). به منظور نمایش سطوح متفاوت محافظه‌کاری تصمیم‌گیرنده، سه سطح مختلف شامل صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد کل بودجه‌های عدم قطعیت برای هریک از مسائل نمونه اصلی (نمایش داده شده در جدول ۱) لحاظ شده است؛ در نتیجه، ۹ مسئله نمونه در مجموع بررسی شده است. سطوح صفر و ۱۰۰ درصد بودجه به ترتیب نشان‌دهنده قطعیت و عدم قطعیت کامل است. سطوح میانی نیز حد متوسط محافظه‌کاری تصمیم‌گیرنده را نشان می‌دهند. تنظیم پارامترهای الگوریتم ممتیک پیشنهادی با استفاده از روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی انجام شده و نتایج در جدول ۲ آورده شده است. نتایج ارائه شده در جدول ۳ نشان از برتری الگوریتم ممتیک پیشنهادی در مقایسه با دو الگوریتم فراابتکاری ژنتیک و ممتیک بر پایه ژنتیک و جست‌وجوی همسایگی متغیر دارد. نتایج مقایسه با الگوریتم ژنتیک حاکی از اثربخشی فرآیند جست‌وجوی محلی در عمق‌بخشیدن به جست‌وجو و بهبود در کیفیت جواب‌ها است. الگوریتم ژنتیک از نظر زمان حل برتر از ممتیک است؛ هرچند این برتری تحت تأثیر کیفیت پایین جواب آن قرار می‌گیرد. نتایج حل حاکی از آن است که با افزایش

بودجه عدم قطعیت، مقدار سود کل زنجیره کاهش یافته که رفتاری محافظه‌کارانه را در برنامه‌ریزی زنجیره تأمین نشان می‌دهد.

جدول ۱. مسائل نمونه اصلی

مسئله نمونه اصلی	بازارها	خرده‌فروشان	تولیدکنندگان	تأمین‌کنندگان دسته ۱	تأمین‌کنندگان دسته ۲
۱	۱۰	۶	۳	۵	۳
۲	۲۰	۱۲	۵	۱۰	۶
۳	۳۰	۱۸	۷	۱۵	۹

جدول ۲. مقادیر تنظیم‌شده پارامترهای الگوریتم ممتیک با استفاده از روش تاگوچی (مقادیر انتخابی مشخص شده با خط

زیرین)

پارامتر	سطوح آزمایش	پارامتر	سطوح آزمایش
تکرار الگوریتم ژنتیک	(۳۰۰،۴۰۰،۵۰۰)	اندازه جمعیت	(۷۵،۵۰،۱۰۰)
تکرار الگوریتم جست‌وجوی متغیر همسایگی	(۸،۱۲،۱۰)	تکرار الگوریتم تپه‌نورد	(۳،۵،۴)
احتمال جهش (۱ منهای احتمال تقاطع)	(۰/۱۰۰/۰،۲/۳)		

مسئله مورد بررسی برای یک شرکت تولیدکننده انواع موتور خودرو بررسی شده است که برای حفظ مزیت رقابتی نسبت به رقبای، در نظر دارد، رضایت مشتریان را با ارائه خدمات پس از فروش مناسب ارتقا دهد. شرکت تصمیم دارد سطح خدمات پس از فروش را بازمینی کند با توجه به تحلیل اطلاعات مربوط به نرخ تقاضا و برگشت محصولات، استراتژی‌های بازار مانند قیمت خرده‌فروشی، دوره خدمات پس از فروش و سطح خدمت. محصول تولیدی دارای دو قطعه اصلی  $n_1$  و  $n_2$  است. برای تأمین قطعات  $n_1$  و  $n_2$  به ترتیب تنها دو  $S^{(n1)} = \{s1, s3\}$  و یک  $S^{(n2)} = \{s2\}$  تأمین‌کننده وجود دارد. در زنجیره تأمین مورد بررسی دو تولیدکننده  $M = \{m1, m2\}$  قادر به مونتاژ محصول نهایی هستند که محصولات را به بازارهای هدف توسط خرده‌فروشان  $R = \{r1, r2\}$  ارائه می‌کنند. مجموعه مسیریهای بالقوه  $T = \{t_{1,2,1,1}, t_{1,2,1,2}, t_{3,2,2,1}, t_{3,2,2,2}\}$  در زنجیره تأمین مستقیم در شکل ۶ نمایش داده شده است. زمان وقوع خرابی در فرایند تأمین‌کنندگان  $S1$ ،  $S2$  و  $S3$  که منجر به تولید محصولات بی کیفیت یا کاهش توان تولید می‌شود دارای توزیع نمایی به ترتیب با میانگین‌های  $\mu_1 = 2$ ،  $\mu_2 = 2$  و  $\mu_3 = 3$  است. نرخ تولید محصولات بی کیفیت برابر با  $\gamma_1 = 10\%$ ،  $\gamma_2 = 20\%$  و  $\gamma_3 = 5\%$  است. نرخ تولید تأمین‌کنندگان،  $S2$  و  $S3$  به ترتیب برابر با ۸۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۹۰۰۰ واحد قطعه در هر دوره است. اطلاعات پارامترهای هزینه‌های تأمین قطعات در جدول ۴ ارائه شده است. نرخ تولید

محصولات نامنتطبق در تولیدکننده ۱ و ۲ دارای توزیع یکنواخت به ترتیب در بازه‌های  $[0, \beta_{m=1} = 0.15]$  و  $[0, \beta_{m=2} = 0.08]$  است. قیمت محصول نیز ثابت است. گزینه‌های خدمات پس از فروش برابر با ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ سال است. استراتژی‌های سطح خدمت عبارت است از:  $sl_1 = (sl_{1p} = 0.98, sl_{1a} = 0.96)$ ،  $sl_2 = (sl_{2p} = 0.90, sl_{2a} = 0.95)$  و  $sl_3 = (sl_{3p} = 0.85, sl_{3a} = 0.91)$  میانگین و محدوده اطمینان سه سیگما برای نرخ خرابی قطعات در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. نتایج حل مدل نشان می‌دهد که سطح خدمت و استراتژی‌های خدمات پس از فروش با بیش‌ترین سود برابر با  $sl_p^* = 0.85, sl_a^* = 0.91$  و  $w^* = 1$  است. قابلیت اطمینان تسهیلات با کم‌ترین هزینه و با توجه به سطح خدمت مدنظر برابر با  $rl_{s=1} = 1, rl_{s=2} = 1, rl_{s=3} = 0.94$ ،  $rl_{m=1} = 0.99$ ،  $rl_{m=2} = 0.93$ ،  $rl_{r=1} = 0.99$  و  $rl_{r=2} = 0.99$  است. در شکل‌های ۹ و ۱۰ مقادیر جریان در شبکه‌های تأمین محصول نهایی و خدمات پس از فروش ارائه شده است.

جدول ۳. مقایسه کارایی الگوریتم ممتیک مبتنی بر ژنتیک با جست‌وجوی همسایگی متغیر انطباقی‌پذیر

الگوریتم‌های حل							
الگوریتم ژنتیک		الگوریتم ممتیک مبتنی بر جست‌وجوی همسایگی متغیر		الگوریتم ممتیک مبتنی بر جست‌وجوی همسایگی متغیر انطباقی‌پذیر		مسئله نمونه	سهم بودجه عدم قطعیت
تابع هدف	زمان حل	تابع هدف	زمان حل	تابع هدف	زمان حل		
۴۱۴۰۹/۰۰	۶۰۹/۰۰	۴۶۳۷۸/۰۸	۷۵۲/۷۲	۴۹۱۱۴/۳۹	۷۰۱/۶۳	۰	
۳۹۰۸۶/۰۰	۶۴۶/۰۰	۴۳۸۱۵/۴۱	۸۰۶/۲۱	۴۷۰۵۷/۷۵	۷۶۹/۱۲	۵۰	۱
۳۷۲۹۱/۰۰	۷۱۲/۰۰	۴۱۲۸۱/۱۴	۹۳۷/۷۰	۴۳۳۸۶/۴۷	۹۰۶/۷۶	۱۰۰	
۶۰۰۴۳/۰۵	۸۰۱/۰۰	۶۳۲۵۹/۷۰	۱۰۱۳/۱۴	۶۴۲۹۰/۷۳	۹۷۹/۷۰	۰	
۵۴۷۵۹/۴۹	۸۴۶/۰۰	۶۱۳۸۵/۳۸	۱۰۶۳/۴۲	۶۰۴۸۰/۸۱	۱۰۱۸/۷۶	۵۰	۲
۵۱۵۳۶/۱۶	۹۱۵/۰۰	۵۸۶۶۰/۵۰	۱۱۸۴/۹۳	۵۹۲۶۵/۹۲	۱۱۳۸/۷۱	۱۰۰	
۸۸۵۶۳/۵۰	۱۱۱۹/۰۰	۹۴۱۹۳/۶۹	۱۵۰۰/۵۸	۹۲۱۱۱/۳۰	۱۴۲۷/۰۵	۰	
۸۰۴۹۶/۴۴	۱۲۹۶/۰۰	۹۰۸۵۰/۳۷	۱۶۸۹/۹۸	۸۷۲۳۹/۴۴	۱۶۱۲/۲۴	۵۰	۳
۷۳۱۲۹/۸۱	۱۴۱۴/۰۰	۸۰۵۹۹/۵۲	۱۸۷۴/۹۶	۸۵۲۴۹/۵۱	۱۷۸۳/۰۹	۱۰۰	

**تعیین استراتژی بهینه قیمت.** با تحلیل حساسیت مدل نسبت به قیمت، بهترین استراتژی قیمت‌گذاری تعیین می‌شود. با توجه به هزینه تولید و قیمت محصولات رقیب، قیمت محصول در بازه [۸-۱۲] بوده و مدل ریاضی برای مقادیر نمونه قیمت حل می‌شود (شکل ۱۱).

$$D_1(p, sl = (sl_p, sl_a), w) = (500 + 200w - 250(p - 10) - 500(1 - sl_a) - 900(1 - sl_p)) \cdot \varepsilon_1^{(32)}$$

$$D_2(p, sl = (sl_p, sl_a), w) = (400 + 200w - 250(p - 10) - 500(1 - sl_a) - 900(1 - sl_p)) \cdot \varepsilon_2^{(33)}$$

**تحلیل ارتباط قیمت-دوره خدمات پس از فروش.** برای تحلیل همبستگی دوره خدمات پس از فروش و قیمت در سطح خدمت ثابت، مدل ریاضی برای یک مجموعه نمونه از قیمت‌ها در بازه [۸-۱۲] برای هر گزینه خدمات پس از فروش و سطح خدمت حل می‌شود. سود حاصل برای گزینه‌های سطوح خدمت برابر با  $sl_{3p}=0.85$  و  $sl_{3a}=0.91$  است. تقاطع این توابع نشان‌دهنده قیمت بحرانی است که در آن اولویت گزینه‌ها برای خدمات پس از فروش تغییر می‌کند (جدول ۴). سود دریافت‌شده با توجه به تغییرات قیمت برای تمامی گزینه‌های خدمات پس از فروش تغییر می‌کند. در یک بازه قیمتی معین، درحالی که تابع سود برای یک گزینه خدمات پس از فروش صعودی است، برای دیگر گزینه‌ها می‌تواند نزولی و یا صعودی باشد. مدل به صورت مجدد برای گزینه‌های متفاوت خدمات پس از فروش و قیمت با ثابت کردن سطح خدمت بر روی دومین گزینه حل می‌شود ( $sl_{2a}=0.95$  و  $sl_{2p}=0.90$ ) (جدول ۵). در موارد با سطح خدمت بالاتر، قیمت‌های بحرانی با مقادیر بیش‌تر در مقایسه با حالت قبلی رشد داشتند؛ اما همچنان مقادیر آن‌ها به یکدیگر نزدیک است. در سطوح بالاتر خدمت، نتایج حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات قیمت دارند. در این حالت، احتمال ایجاد تغییر در اولویت گزینه‌های خدمات پس از فروش در پی تغییرات کوچک در قیمت بیش‌تر است. نتایج تحلیل مشابه با اولین گزینه سطح خدمت ( $sl_{1p}=0.98$  و  $sl_{1a}=0.96$ ) در جدول ۶ ارائه شده است. مقایسه قیمت‌های بحرانی نشان می‌دهد که فاصله میان قیمت‌های بحرانی حاصل از سطح خدمت میانی برای سطوح خدمت پایین‌تر، کوچک‌تر است. این فاصله برای سطح خدمت بالاتر کوچک‌تر می‌شود. فواصل کوچک بدان معنا است که اولویت گزینه‌های خدمات پس از فروش از جنبه معیار سود نسبت به تغییرات قیمت حساس‌تر بوده و پایداری کمتری دارد؛ بنابراین با افزایش سطح خدمت، همبستگی بین قیمت و خدمات پس از فروش بیش‌تر می‌شود؛ همچنین اولویت گزینه‌های خدمات پس از فروش نسبت به تغییرات قیمت بسیار حساس‌تر است و برای بازه‌های کوچک‌تر قیمت و بالعکس پایدارتر است (جدول ۷).

For  $r_r = 0.9:0.01:1.0$  ( $\forall r \in R$ )  
 For  $r_m = 0.9:0.01:1.0$  ( $\forall m \in M$ )  
 For  $r_s = 0.9:0.01:1.0$  ( $\forall s \in S$ )  
 IF  $sl_p \equiv \prod_{(\forall t \in (s1 \cap T^{(r)}))} \left( \left( \prod_{(\forall s \in t)} r_s \right) \times r_{m|m \in t} \times r_{r|r \in t} \right)$  and  
 IF  $sl_a \equiv \prod_{(\forall t \in (s1 \cap T^{(r)}))} \left( (r_r)^{|N|} \cdot \prod_{(\forall n \in N, s \in S^{(n)} | s \in t)} r_s \right)$  ( $\forall r \in R$ )  
 Add  $(r_r^{(s2)} = r_r$  ( $\forall r \in R$ ),  $r_m^{(s2)} = r_m$  ( $\forall m \in M$ ),  $r_s^{(s2)} = r_s$  ( $\forall s \in S$ )) into S2  
 End;  
 End;  
 End;  
 End;

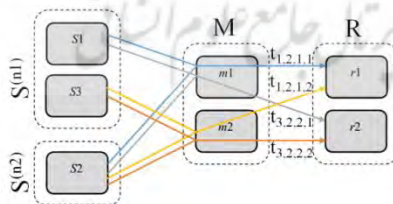
شکل ۵. شبه کد جداسازی فواصل قابلیت اطمینان

جدول ۴. مقادیر پارامترهای هزینه‌های تأمین

مقدار (دلار)	پارامتر	مقدار (دلار)	پارامتر	مقدار (دلار)	پارامتر	مقدار (دلار)	پارامتر
۲/۰۰	$a^{m=1}$	۰/۰۷	$a_{s=1,r=1}^t$	۰/۰۵	$a_{s=1,m=1}^t$	۰/۵۰	$a_1^{s=1}$
۲/۱۵	$a^{m=2}$	۰/۰۷	$a_{s=1,r=2}^t$	۰/۰۸	$a_{s=2,m=1}^t$	۰/۶۰	$a_2^{s=1}$
۰/۰۵	$a_{m=2,r=1}^t$	۰/۰۷	$a_{s=2,r=1}^t$	۰/۰۸	$a_{s=2,m=2}^t$	۰/۶۰	$a_1^{s=2}$
۰/۰۵	$a_{m=2,r=2}^t$	۰/۰۷	$a_{s=2,r=2}^t$	۰/۰۶	$a_{s=3,m=2}^t$	۰/۷۰	$a_2^{s=2}$
۰/۱۱	$h_{r=1}^+$ and 2	۰/۰۷	$a_{s=3,r=1}^t$	۰/۰۵	$a_{m=1,r=1}^t$	۰/۵۵	$a_1^{s=3}$
۰/۰۵	$h_{r=1}^-$ and 2	۰/۰۷	$a_{s=3,r=2}^t$	۰/۰۴	$a_{m=1,r=2}^t$	۰/۷۰	$a_2^{s=3}$

جدول ۵. اولویت‌گزیندهای خدمات پس از فروش با توجه به مقادیر قیمت‌ها

اولویت‌گزیندهای خدمات پس از فروش	محدوده قیمت	اولویت‌گزیندهای خدمات پس از فروش	محدوده قیمت
۰/۵ و ۲، ۱، ۱/۵	$10.80 < p \leq 11.10$	۲ و ۱/۵، ۰/۵، ۱	$9 < p \leq 10$
۰/۵ و ۱، ۲، ۱/۵	$11.10 < p \leq 11.45$	۲ و ۰/۵، ۱/۵، ۱	$10.10 < p \leq 10.55$
		۲ و ۰/۵، ۱، ۱/۵	$10.55 < p \leq 10.80$



شکل ۶. ساختار شبکه و مسیرهای بالقوه شبکه زنجیره تأمین در مسئله نمونه

جدول ۶. اولویت‌گزینه‌های خدمات پس‌ازفروش با توجه به مقادیر قیمت‌ها

اولویت‌گزینه‌های خدمات پس از فروش	محدوده قیمت	اولویت‌گزینه‌های خدمات پس از فروش	محدوده قیمت
۰/۵، ۱، ۲ و ۰/۵	$11.65 < p \leq 12.00$	۰/۵، ۱، ۰/۵ و ۲	$p \leq 10.45$
۰/۵، ۱، ۲، ۰/۵ و ۰/۵	$12 < p \leq 12.26$	۰/۵، ۱، ۰/۵ و ۲	$10.45 < p \leq 11.15$
۰/۵، ۱، ۰/۵، ۲ و ۰/۵	$12.26 \leq p$	۰/۵، ۱، ۰/۵ و ۲	$11.15 < p \leq 11.65$

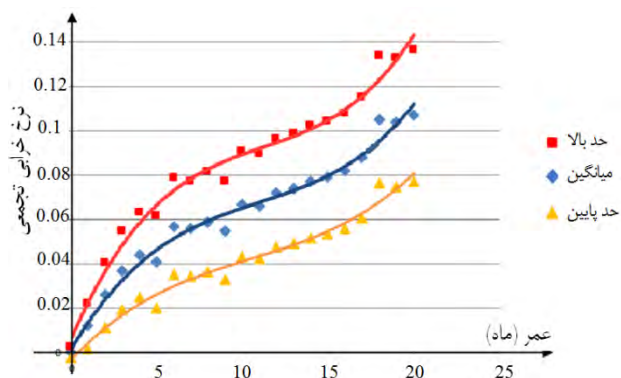
**تحلیل ارتباط سطح خدمت - دوره خدمات پس‌ازفروش.** رابطه خدمات پس‌ازفروش و سطح خدمت برای قیمت ثابت در شکل ۱۲ بررسی شده و حاکی از نبود اندرکنش میان توابع سود برای گزینه‌های مختلف سطح خدمت است؛ در نتیجه اولویت‌گزینه‌های سطح خدمت با تغییر خدمات پس‌ازفروش تغییر نمی‌کند. بیش‌ترین سود همواره متعلق به پایین‌ترین سطح خدمت است؛ در نتیجه برای یک قیمت مشخص، اولویت‌گزینه‌های سطح خدمت تغییر معناداری در پی تغییر خدمات پس‌ازفروش ندارد. اولویت‌گزینه‌های سطح خدمت معمولاً پایدار است و به راحتی تحت تأثیر تغییر خدمات پس‌ازفروش قرار نمی‌گیرد. رابطه متقابل سطح خدمت-خدمات پس‌ازفروش بسیار پایدارتر از رابطه خدمات پس از فروش - قیمت است؛ با وجود این، پایداری رابطه خدمات پس‌ازفروش - قیمت می‌تواند با افزایش حساسیت پارامتر سطح خدمت در تابع تقاضا تغییر کند. در شکل ۱۳ برای یک استراتژی مدنظر، ارتباط دو استراتژی دیگر ارائه شده است.

جدول ۷. اولویت‌گزینه‌های خدمات پس‌ازفروش با توجه به مقادیر قیمت‌ها

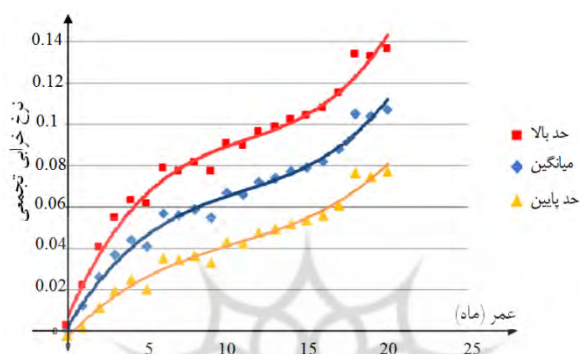
اولویت‌گزینه‌های خدمات پس از فروش	محدوده قیمت	اولویت‌گزینه‌های خدمات پس از فروش	محدوده قیمت
۰/۵، ۱، ۲ و ۰/۵	$12.55 < p \leq 12.74$	۰/۵، ۱، ۰/۵ و ۲	$p \leq 11.38$
۰/۵، ۱، ۲، ۰/۵ و ۰/۵	$12.74 < p \leq 12.85$	۰/۵، ۱، ۰/۵ و ۲	$11.38 < p \leq 12.2$
۰/۵، ۱، ۰/۵، ۲ و ۰/۵	$12.85 < p$	۰/۵، ۱، ۰/۵ و ۲	$11.15 < p \leq 11.65$
		۰/۵، ۱، ۰/۵ و ۲	$12.41 < p \leq 12.55$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

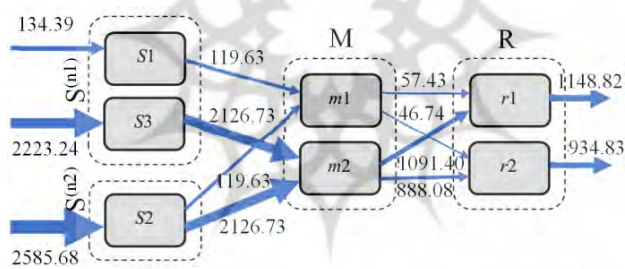




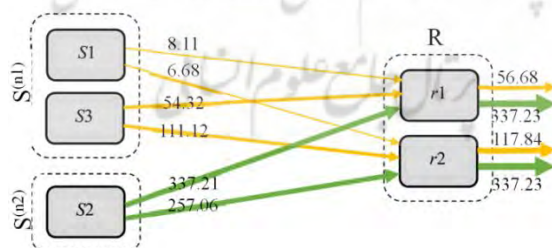
شکل ۷. نرخ خرابی قطعه نخست با توجه به دوره عمر آن



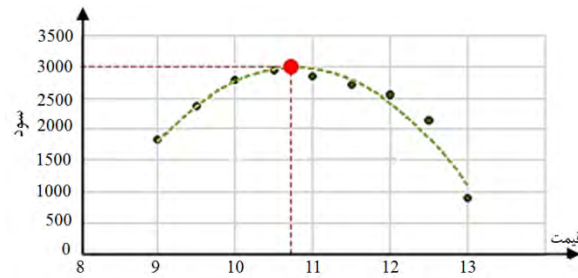
شکل ۸. نرخ خرابی قطعه دوم با توجه به دوره عمر آن



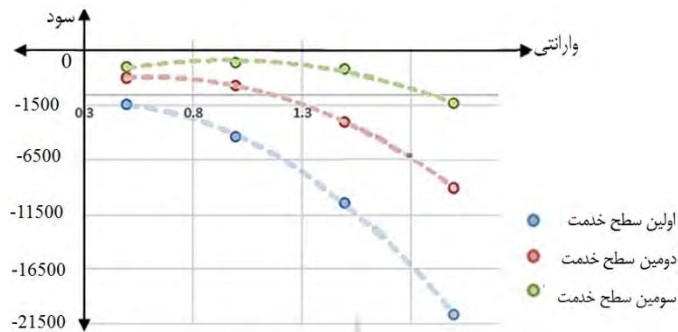
شکل ۹. جریان در شبکه زنجیره تأمین مستقیم



شکل ۱۰. جریان در شبکه خدمات پس از فروش



شکل ۱۱. رفتار تابع سود در برابر قیمت ثابت ۱۰ دلار



شکل ۱۲. نمایش همبستگی میان سطح خدمت و خدمات پس از فروش

W=	۰/۵	۱/۰	۱/۵	۲/۰
(۰/۸۵ و ۰/۹۱)	۱۰/۵	۱۰/۸	۱۱/۷	۱۲/۶۵
(۰/۹۰ و ۰/۹۵)	۱۰/۸	۱۱/۹	۱۲/۸	۱۳/۵
(۰/۹۸ و ۰/۹۶)	۱۱/۴	۱۳/۱	۱۳/۷	۱۴/۳

شکل ۱۳. تغییرات سه استراتژی بازاریابی: قیمت، سطح خدمت و دوره خدمات پس از فروش

## ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مدل ارائه شده برای انتخاب استراتژی‌های بازاریابی برای مدیریت زنجیره تأمین به دو مسئله پرداخته شده است که عبارت‌اند از: ۱. مدل‌سازی همبستگی میان فرآیندهای زنجیره تأمین محصولات نهایی و خدمات پس از فروش با در نظر گرفتن پویایی جریان‌ها به صورت توأم؛ ۲. در نظر گرفتن عدم قطعیت در عملکرد تسهیلات زنجیره و انتشار آن در سطح شبکه. به این منظور، مجموعه‌ای از روابط کمی‌سازی شده است که عبارت‌اند از: ارتباط بین قابلیت اطمینان تسهیلات و سطح خدمت زنجیره تأمین؛ ارتباط بین قابلیت اطمینان تسهیلات و پویایی جریان و ارتباط بین سطح خدمت زنجیره تأمین و استراتژی‌های بازاریابی. ارتباط بین استراتژی‌های بازاریابی تحلیل شده و چگونگی اثرگذاری تغییر در یک استراتژی بر بهترین انتخاب دیگر استراتژی‌های

بررسی شده است. تحلیل همبستگی بین قیمت و دوره خدمات پس از فروش نشان می‌دهد که با افزایش سطح خدمت، این همبستگی شدت بیش تری می‌یابد؛ در نتیجه، اولویت گزینه‌های خدمات پس از فروش حساسیت بیش تری نسبت به تغییرات قیمت دارد. تحلیل همبستگی بین سطح خدمت و خدمات پس از فروش نشان می‌دهد که در بازار، رابطه متقابل سطح خدمت و خدمات پس از فروش نسبت به رابطه بین خدمات پس از فروش و قیمت، بسیار پایدارتر است؛ هرچند رابطه بین سطح خدمت و خدمات پس از فروش با افزایش ضریب سطح خدمت در تابع تقاضا می‌تواند تغییر کند؛ همچنین نتایج حل نشان می‌دهد که با مواجهه با سطوح بالاتر عدم قطعیت، زنجیره تأمین رفتار محافظه کارانه تری اتخاذ می‌کند و سود کلی آن کاهش می‌یابد. با توجه به پیچیدگی‌های زیاد حل مدل ارائه شده، یک روش حل فراابتکاری مبتنی بر الگوریتم ممیک ارائه شده است که برای جستجوی فضای جواب از الگوریتم ژنتیک استفاده شده و بهبود کیفیت جواب‌ها در هر مرحله توسط الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر انطباق پذیر انجام می‌شود. نتایج سنجش کارایی الگوریتم حاکی از برتری معنادار آن از نظر کیفیت جواب است که حاکی از اثربخشی مثبت استفاده از یک ساختار سیستماتیک برای انتخاب ساختارهای همسایگی حین فرآیند بهبود جواب است. بازتولید قطعات معیوب برای تأمین نیاز خدمات پس از فروش نیز می‌تواند به عنوان یک راه کار جدید دیگر در پژوهش‌های آتی بررسی شود؛ همچنین دیگر معیارهای ارزیابی با توجه به فضای تصمیم گیری مسئله مورد بررسی نظیر حداکثر کردن سطح پاسخ و حداقل کردن میزان ضایعات با توسعه مدل چندهدفه نیز در نظر گرفته شوند.

## منابع

۱. حسینی، علی‌اکبر؛ حسینی، محمدحسن (۱۳۹۴). ارائه یک مدل جامع استوار دوهدفه و الگوریتم ممیتیک برای طراحی شبکه زنجیره تأمین برگشتی تحت شرایط عدم قطعیت. فصلنامه چشم‌انداز مدیریت صنعتی. ۱۶، ۹-۳۲.
2. Bijvank, M., G. Koole, & I.F.A. Vis, (2010). Optimising General Repair Problem with a Service Constraint. *European Journal of Operational Research*, 204, 76-85.
3. Davies, A., T. Brady, and M. Hobday, (2006). Charting a Path Towards Integrated Solutions. *MIT Sloan Management Review*, 47, 39-48.
4. Li, G., F.F. Huand, T.C.E. Cheng, & Q. Zheng, (2014). Make-Or-Buy Service Capacity Decision in a Supply Chain Providing After-Sales Service. *European Journal of Operational Research*, 239, 377-388.
5. Rezapour, S., R. Singh, J.K. Allen, & F. Mistree, (2015). Stochastic Supply Networks Servicing Pre- and After-Sales Markets. in Proceedings of the ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. *Boston, Massachusetts, USA*.
6. Gaiardelli, P., N. Saccani, & L. Songini, (2007). Performance Measurement of The After-Sales Service Network - Evidence From The Automotive Industry. *Computers in Industry*, 58, 698-708.
7. Bacchetti, A. & N. Saccani, (2012). Spare Parts Classification and Demand Forecasting For Stock Control: Investigating The Gap Between Research and Practice. *Omega*, 40, 722-737.
8. Kosnik, T., M. Wong, D.J. Ji, & K. Hoover, (2006). Outsourcing Vs Insourcing In The Human Resource Supply Chain: A Comparison of The Five Generic Models. *Personnel Review*, 35(6), 671-684.
9. Kurata, H. & S.H. Nam, (2013). After-Sales Service Competition in a Supply Chain: Does Uncertainty Affect The Conflict Between Profit Maximization and Customer Satisfaction? *International Journal of Production Economics*, 144, 268-280.
10. Park, M., K.M. Jung, & D.H. Park, (2013). Optimal Post-Warranty Maintenance Policy with Repair Time Threshold For Minimal Repair. *Reliability Engineering & System Safety*, 111, 147-153.
11. Shahanaghi, k., R. Noorossana, S.G. Jalali-Naini, & M. Heydari, (2013). Failure Modeling and Optimizing Preventive Maintenance Strategy During Two-Dimensional Extended Warranty Contracts. *Engineering Failure Analysis*, 28, 90° 102.
12. Vahdani, H., H. Mahlooji, & A.E. Jahromi, (2013) Warranty Servicing For Discretely Degrading Items with Non-Zero Repair Time Under Renewing Warranty. *Computers & Industrial Engineering*, 65, 176° 185.
13. Wang, W., (2012). A Stochastic Model for Joint Spare Parts Inventory and Planned Maintenance Optimization. *European Journal of Operational Research*, 216, 127-139.
14. Oner, K.B., G.P. Kiesmuller, & G.J. Van Houtum, (2010). Optimization of Component Reliability in The Design Phase of Capital Goods. *European Journal of Operational Research*, 205, 615-624.
15. Chien, Y.H. & J.A. Chen, (2008). Optimal Spare Ordering Policy Under a Rebate Warranty. *European Journal of Operational Research*, 186, 708-719.

16. Chen, X., L. Li, & M. Zhou, (2012). Manufacturer s Pricing Strategy for Supply Chain with Warranty Period-Dependent Demand. *Omega*, 40, 807-816.
17. Hartman, J.C. & K. Laksana, (2009). Designing and Pricing Menu of Extended Warranty Contracts. *Naval Research Logistics*, 56, 199-214.
18. Su, C. & J. Shen, (2012). Analysis of Extended Warranty Policies with Different Repair Options. *Engineering Failure Analysis*, 25, 49° 62.
19. Tsoukalas, M.Z. & G.K. Agrafiotis, (2013). A New Replacement Warranty Policy Indexed By The Product s Correlated Failure and Usage Time. *Computers & Industrial Engineering*, 66, 203° 211.
20. Zhou, Z., Y. Li, & K. Tang, (2009). Dynamic Pricing and Warranty Policies for Products with Fixed Lifetime. *European Journal of Operational Research*, 196, 940° 948.
21. Gupta, S. & D.R. Lehmann, (2007). Managing Customers As Investments: The Strategic Value of Customers in The Long Run. Pearson Education as Wharton School Publishing, Upper Saddle Reviser: NJ.
22. Barabadi, A., J. Barabady, & T. Markeset, (2014). Application of Reliability Models with Covariates in Spare Part Prediction and Optimization ° A Case Study. *Reliability Engineering and System Safety*, 123, 1-7.
23. Wu, C.H., (2012). Price and Service Competition Between New and Remanufactured Products in a Two-Echelon Supply Chain. *International Journal of Production Economics*, 140, 496-507.
24. Kurata, H. & S.H. Nam, (2010). After-Sales Service Competition In A Supply Chain: Optimization of Customer Satisfaction Level or Profit Or Both? *International Journal of Production Economics*, 127, 136-146.
25. Khajavi, S.H., J. Partanen, & J. Holmstron, (2013). Additive Manufacturing In The Spare Parts Supply Chain. *Computers in Industry*, 65(1), 50-63.
26. Eskandarpour, M., E. Nikbakhsh, & S.H. Zegordi, (2014). Variable Neighborhood Search For The Bi-Objective Post-Sales Network Design Problem: A Fitness Landscape Analysis Approach. *Computers & Operations Research*, 52, 300° 314.
27. Eskandarpour, M., S.H. Zegordi, & E. Nikbakhsh, (2013). A Parallel Variable Neighborhood Search for The Multi-Objective Sustainable Post-Sales Network Design Problem. *International Journal of Production Economics*, 145(1), 117° 131.
28. Faridimehr, S. & S.T.A. Niaki, (2012). A Note On Optimal Price, Warranty Length and Production Rate for Free Replacement Policy in Static Demand Markets. *Omega*, 40, 805-806.
29. Lieckens, K.T., P.J. Colen, & M.R. Lambrecht, (2013). Optimization of a Stochastic Remanufacturing Network with an Exchange Option. *Decision Support Systems*, 54, 1548-1557.
30. Rappold, J. & B.D.V. Roo, (2009). Designing Multi-Echelon Service Parts Networks with Finite Repair Capacity. *European Journal of Operational Research*, 199, 781-792.
31. Sahba, P. & B. Balcioglu, (2011). The Impact of Transportation Delays on Repairshop Capacity Pooling and Spare Part Inventories. *European journal of Operational Research*, 214, 674-682.

32. Wu, C.C., C.Y. Chou, & C. Huang, (2009). Optimal Price, Warranty Length and Production Rate for Free Replacement Policy in The Static Demand Market. *Omega*, 37, 29- 39.
33. Rao, B.M., (2011). A Decision Support Model For Warranty Servicing of Repairable Items. *Computers and Operations Research*, 38, 112° 130.
34. Sana, S.S., (2010). An Economic Production Lot Size Model in an Imperfect Production System. *European Journal of Operational Research*, 201, 158-170.
35. Bernstein, F. & A. Federgruen, (2004). A General Equilibrium Model For Industries With Price and Service Competition. *Operations Research*, 52(6), 868-886.

