نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

ISSN: 2345-2269

سال هفتم، شماره چهاردهم، بهار و تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۷۹-۹۱

www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/ier.2019.16304.1765

ارائه مدلی جهت کاهش هزینه‌های وارانتی دومرحله‌ای گسترش‌یافته بر مبنای نوع مشتریان با توجه به نرخ مصرف

ام‌البنین یوسفی[1*]، رامین اخلاق[2]، فاطمه رشیدیان[3]

۱. استادیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی مالک اشتر

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۷/۲/۲۴

پذیرش ۱۳۹۸/۴/۱۲

کلمات کلیدی:

وارانتی

(دوره‌ی وارانتی تعویض/تعمیر مجانی) FRRW

(دوره‌ی وارانتی نسبی) PRW

نرخ مصرف مشتریان دسته‌بندی مشتریان

خلاصه

در این مقاله، یک مدل وارانتی بررسی می‌گردد که تحت آن پس از پایان دوره وارانتی دومرحله‌ای، یک دوره وارانتی اضافی به مشتری ارائه می‌شود. دوره‌ی وارانتی دومرحله‌ای به دو مقطع تقسیم می‌شود، مقطع اول دوره‌ی تعویض/ تعمیر مجانی (FRRW) و دیگری دوره‌ی وارانتی نسبی (PRW) است. اگر خرابی محصول در طول دوره‌ی FRRW رخ دهد، آن محصول توسط تولیدکننده به‌صورت رایگان تعمیر یا با یک محصول نو تعویض می‌گردد. در دوره‌ی PRW تولیدکننده و مشتری در پرداخت هزینه‌های تعمیر مشترک می‌باشند و در دوره وارانتی گسترده تنها تعمیر حداقلی انجام می‌شود. ازآنجایی‌که نرخ مصرف مشتریان در یک بازه‌ی زمانی مشخص متفاوت است، بهتر است قبل از تعیین نوع سیاست وارانتی، به دسته‌بندی مشتریان براساس نرخ مصرفشان پرداخته شود. این کار سبب کاهش هزینه‌های وارانتی می‌گردد. در نهایت به تحلیل حساسیت میزان درصد مشتریان کم‌مصرف (پرمصرف) در مقدار هزینه‌ی کل پرداخته شده است.

۱- مقدمه

یک سیاست مناسب وارانتی تصویر محصولی با کیفیت بالا را به نمایش می‌گذارد و به‌عنوان ابزار رقابتی قدرتمند برای بازاریابی محصول قابل‌استفاده است . اعمال این سیاست وارانتی که برای خریداران جذابیت داشته باشد هزینه بر است [۱]. محصولاتی که همواره با وارانتی به فروش می‌رسند، در زمان خرابی باید توسط تولیدکننده یا هر مرکز وارانتی کننده دیگری تعمیر یا تعویض گردند [۲]. در حال حاضر اکثر محصولات موجود در بازار با یک دوره وارانتی از طرف تولیدکننده و یا فروشندگان عرضه می‌شوند. در طی این مدت تولیدکننده قطعه خراب را توسط یک قطعه سالم جایگزین می‌کند (سیاست تعویض) یا آنکه آن را تعمیر می‌نماید (سیاست تعمیر). مورسی[1] و بلستر[2] و در مقاله خود دو نقش مهم را برای وارانتی معرفی می‌کنند:

الف) **پشتیبانی:** حمایت از مشتری در قبال محصولات خراب و رسیدگی به شکایات مشتریان.

ب) **پیشرفت و ارتقاء:** متمایز کردن محصولات از سایر تولیدکنندگان [۳].

از جنبه پشتیبانی، وارانتی نه تنها ریسک خرید مشتری را کاهش می‌دهد، بلکه می‌تواند به تولیدکننده، در کاهش توقعات غیرمنطقی مشتریان کمک نماید. به‌عنوان‌مثال فرض کنید که طول دوره وارانتی یک محصول یک سال باشد اگر هیچ گونه سیاست وارانتی وجود نداشته باشد، مشتری ممکن است توقع داشته باشد که تولیدکننده

* نویسنده مسئول: ام‌البنین یوسفی

تلفن: ۰۳۱-۴۵۲۲۳۹۱۰؛ پست الکترونیکی: yousefi_1302@yahoo.com

1. Murthy
2. Blischke

در هر زمان (حتی بیشتر از یک سال) محصول خراب را به‌طور رایگان تعمیر نماید. از جنبه پیشرفت و ارتقا نیز وارانتی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار بازاریابی مؤثر، محصول موردنظر را از سایر محصولات مشابه متمایز نماید [۴]. تنظیم هر نوع وارانتی ازآنجایی‌که شامل یک سری خدمات پشتیبانی برای محصول است، باعث ایجاد هزینه‌های اضافی برای تولیدکننده خواهد شد. این هزینه‌ها غیرقابل‌پیش‌بینی هستند اما عموماً در محدوده ۲ تا ۱۵ درصد از فروش خالص را تشکیل می‌دهند [۵]. میانگین هزینه وارانتی محصول، تابعی از نوع سیاست وارانتی، سیاست‌های تعمیرات به‌کار گرفته‌شده توسط تولیدکننده و همچنین قابلیت اطمینان محصول عرضه‌شده است. یکی از راه‌های کاهش هزینه وارانتی برای محصولات عرضه‌شده به بازار استفاده از برنامه‌های تعمیرات پیشگیرانه است که ریسک خرابی محصول را کاهش دهد و در نتیجه می‌تواند منجر به بهبود قابلیت اطمینان محصول گردد [۶]. برای مشخص شدن این نوع تعمیرات روش‌ها و مدل‌های متفاوتی وجود دارد که هرکدام از آن‌ها مستلزم هزینه‌هایی می‌باشند. هدف مشترک تمامی مدل‌هایی که تاکنون ارائه‌شده کاهش هزینه‌ها و جلب رضایت مشتری بوده است. رویکردی که در این پژوهش مدنظر قرار گرفته، ارائه مدلی است که علاوه بر کاهش هزینه‌ها برای تولیدکننده، باعث افزایش رضایت مصرف‌کنندگان نیز می‌شود. در ادامه در قسمت ۲ مبانی نظری پژوهش آورده شده است، قسمت ۳ به مروری بر کارهایی که تا کنون در این زمینه صورت گرفته می‌پردازد، در قسمت ۴ مدل پیشنهادی معرفی شده است، سپس در قسمت ۵ تحلیل حساسیت صورت می‌گیرد و نهایتاً در قسمت ۶ نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

۲- مبانی نظری

وارانتی قراردادی مابین مشتری و تولیدکننده است که تولیدکننده را برای تعویض یا تعمیر محصول معیوب در طول یک دوره مشخص که از قبل تعیین‌شده است، ملزم می‌سازد. در سال‌های اخیر، از وارانتی به‌عنوان یک ابزار تبلیغاتی مؤثر در جهت ارتقاء تولیدات خود بهره گرفته‌اند، به‌طوری‌که طول دوره‌ی وارانتی به‌طور چشم‌گیری در حال افزایش است. به‌طور مثال این دوره برای خودروها از ۸ ماه در اوایل دهه‌ی ۸۳ میلادی به ۱ سال در دهه‌ی ۹۳ و ۸ تا ۵ سال در دهه اول قرن ۲۱ افزایش داشته است [۷]. در حال حاضر شرکت نیسان به خریداران خود، وارانتی با طول ۱۰ سال پیشنهاد می‌کند [۸]. یکی از مرسوم‌ترین سیاست‌های وارانتی، تعویض/تعمیر مجانی (FRRW)[1] و تعویض مجانی (FRW)[2] بوده که محصولات موردمطالعه در این مقاله نیز از این نوع وارانتی برخوردار می‌باشند. همچنین از دو نوع وارانتی دیگر بانام‌های (RW)[3] و (MW)[4] استفاده گردیده شده که در ادامه به‌طور مفصل درباره‌ی آن‌ها صحبت می‌شود. در این سیستم فروشنده موظف است در صورت مواجهه با محصول معیوب، برای یک دوره زمانی T (طول دوره وارانتی) بدون دریافت هیچ‌گونه هزینه‌ای از مشتری، قطعه معیوب را تعویض یا تعمیر کند. در روشی دیگر تحت عنوان وارانتی نسبی[5] یا به اختصار PRW، تعویض قطعه معیوب، با دریافت مبلغ از پیش تعیین شده ای از مشتری انجام می‌شود [۹]. میانگین هزینه وارانتی محصول، تابعی از نوع سیاست وارانتی، سیاست‌های تعمیرات به کارگرفته‌شده توسط تولیدکننده و همچنین قابلیت اطمینان محصول عرضه شده است. یکی از راه‌های کاهش هزینه وارانتی برای محصولات عرضه شده به بازار استفاده از برنامه‌های تعمیرات پیشگیرانه است که می‌تواند منجر به بهبود قابلیت اطمینان محصول شده و ریسک خرابی محصول را کاهش دهد [۶]. اما با افزایش دوره وارانتی هزینه‌های مورد انتظار وارانتی برای تولیدکننده افزایش می‌یابد ولی به دلیل رقابت بسیار پیچیده و زیاد در بازارها و همچنین تقاضای مشتریان رقابت بین تولیدکنندگان برای ارائه وارانتی های بهتر به‌منظور جذب مشتریان افزایش بیشتری یافته است بنابراین تولیدکنندگان به دنبال راهی هستند تا علاوه‌بر ارائه وارانتی های جذاب هزینه‌های مربوط به خرابی محصولات تحت پوشش وارانتی را حداقل کنند به همین منظور مدل‌های گوناگونی برای برآورد هزینه‌های مورد انتظار توسعه‌یافته‌اند که هر یک فرض‌ها و ضعف‌هایی دارند [۱۰].

دسته‌بندی‌های مختلفی برای انواع مدل‌های وارانتی وجود دارد. اما به‌طورکلی می‌توان این مدل‌ها را به سه دسته کلی زیر تقسیم کرد:

دسته اول: دسته‌بندی براساس سیاست نگهداری و تعمیرات مشخص برای محصولات در دوران وارانتی است که به سه بخش زیر تقسیم شده است:

الف) خدمات وارانتی همراه با خدمات نگهداری و تعمیرات به‌صورت CM

ب) خدمات وارانتی همراه با خدمات نگهداری و تعمیرات به‌صورت CM و PM

ج) خدمات وارانتی همراه با خدمات نگهداری و تعمیرات به‌صورت دوره‌ای[6]

دسته دوم: در این دسته مدل‌های وارانتی براساس نوع محصول به دو بخش کلی و سپس به زیربخش‌هایی تقسیم می‌شوند:

الف) محصولاتی که برای اولین بار است که تولید شده‌اند[7]

ب) محصولاتی که برای چندمین بار تولید می‌شوند[8]

و در یک دسته‌بندی جزیی تر محصولات به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱) محصولات تعمیر پذیر[9]

1. Free Replacement/Repair Warranty
2. Free Replacement Warranty
3. Replacement Warranty
4. Maintenance Warranty

5. PRO.RATA
6. warranty period
7. New Product
8. Second – Hand Product
9. Repairable

۲) محصولات غیرقابل تعمیر[1]
۳) محصولات ترکیبی[2]

دسته سوم: نوع سوم از مدل‌های وارانتی شامل انواع تعهدات وارانتی بوده که شامل تقسیم‌بندی‌های زیر است:

الف) تعهدات از دید مشتری
ب) تعهدات از دید تولیدکننده
ج) تعهدات از دید مشتری و تولیدکننده

برای نگهداری و تعمیرات از محصولات سطح‌بندی‌هایی از میزان تعمیرات وجود دارد که به اختصار آن‌های را بیان نموده‌ایم:

۱- تعمیرات حداقلی[3]: این درجه از تعمیر به‌صورت حداقلی است و کالا بعد از تعمیر دست دوم محسوب می‌شود یعنی تابع خرابی آن بعد از تعمیر مانند تابع خرابی آن قبل از تعمیر است
۲- تعمیرات کامل[4]: در این میزان از تعمیر یک تعمیرات نسبتاً کاملی انجام می‌شود به‌نحوی‌که تابع خرابی کالا تا حدودی بهتر از تابع خرابی آن قبل از تعمیر است.
۳- تعمیرات ناکامل[5]: این نوع تعمیر بهترین حالت تعمیر است که به‌صورت کامل انجام می‌شود و تابع خرابی کالا بعد از تعمیر بسیار بهتر از تابع خرابی آن قبل از تعمیر است در این میزان از تعمیر کالا پس از تعمیر نو محسوب می‌شود [۱۱].

۳- پیشینه

همان‌طور که قبلاً ذکر شد مدل‌های مختلفی برای وارانتی محصولات وجود دارد در این قسمت به بررسی بعضی از این مدل‌ها که در گذشته صورت گرفته‌اند پرداخته شده است. در سال ۲۰۱۳ شفیعی مدلی ارائه داد که هدف آن انجام همزمان سیاست‌های وارانتی و تعمیرات و نگهداری به‌منظور کاهش هزینه‌های تولیدکننده و جلب رضایت مشتری بود. وی می‌گوید اگر در دوره‌ی وارانتی اولیه[6] تعمیرات ناکامل باشد می‌توانیم یک برنامه تعمیراتی دیگر در دوره‌ی پس از اتمام دوره‌ی وارانتی اولیه (فراوارانتی) داشته باشیم [۱۱]. اما در سال ۲۰۱۵ جانگ مدل دیگری را ارائه داد که هدف آن تعیین طول دوره نگهداری بهینه بعد از اتمام وارانتی گسترده بود. جانگ به‌عنوان یک معیار برای تعیین استراتژی جایگزینی بهینه، از نرخ هزینه مورد انتظار محصول استفاده کرده که این مقدار را با تقسیم هزینه مورد انتظار بر واحد زمان در طول دوره‌ی حیات (سیکل عمر) محصول به‌دست آورده است [۱۲]. در سال ۲۰۱۵ وانگ و همکارانش مقاله‌ای نوشتند که در آن از یک استراتژی نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در دوران وارانتی اولیه و گسترده به‌منظور کاهش هزینه‌ها استفاده شده بود که در طول این دوره در صورت وجود هر گونه خرابی تولیدکننده به تعمیر محصول پرداخته و هیچ‌گونه هزینه‌ای را از مشتری دریافت نمی‌کند [۱۳]. در مقاله‌ی سو که در سال ۲۰۱۶ ارائه داد بعد از اتمام وارانتی اولیه، از یک وارانتی گسترده استفاده شده و برای محاسبه احتمال کاهش هزینه سرویس‌دهی در حین این دوره از یک تقسیم‌بندی برای مشتریان بر حسب نرخ استفاده آن‌ها از محصول موردنظر بهره گرفته‌شده است [۱۴]. اما شانگ در سال ۲۰۱۶ سخن از تعویض کالا در انتهای کار بجای تعمیر آن در دوره وارانتی گفت و مدلی با این مضمون ارائه کرد که بعد از اتمام زمان وارانتی از یک نگهداری پیشگیرانه ناکامل استفاده می‌شود که در پایان این دوره جایگزینی انجام می‌گرفته است. این تعمیرات پیشگیرانه ناکامل تابع نرخ شکست را به‌وسیله متغیرهای تصادفی کاهش می‌دهد. مزیت این روش نسبت به روش سنتی جایگزینی بعد از اتمام وارانتی این است که گرچه این روش هزینه بر است اما می‌توان زمان عملیات متوالی را کم کرده و هزینه‌های عملیاتی و خرابی را کاهش بدهد [۱۵]. پارک نیز در سال ۲۰۱۶ توسعه‌ای بر مدل قبلی انجام داد و مدل دیگری با هدف شرح مدل‌های هزینه‌ای به‌وسیله یافتن سیاست مالی نگهداری و مقایسه آن‌ها برای دست یابی به سیاست نگهداری بهینه و در نتیجه کاهش تعمیر در حین دوره‌ی وارانتی و فراوارانتی ارائه داد. پارک در این مدل به‌جای به‌کارگیری دو بعد قدیمی سن و کار برد[7] از دو متغیر زمان خرابی و زمان تعمیر استفاده کرد و یک آستانه زمان تعمیر را در نظر گرفت [۱۶]. پس‌ازآن لی نظریه جدیدتری را نسبت به نظریه‌های قبلی بیان نمود و در سال ۲۰۱۶ مدل جدیدی با هدف یافتن سیاست وارانتی بر مبنای اطلاعات را برای محصول تعمیرپذیر از یک مجموعه ناهمگن ارائه نمود. لی با اشاره به مهم بودن بحث نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در دوره وارانتی (به‌دلیل تأثیر گذاشتن روی هزینه‌های سرویس‌دهی در دوره‌ی وارانتی) به یافتن تاریخچه‌ای از کارکرد یک جزء که نشان‌دهنده نوع مجموعه‌ای بوده که این جز در آن است می‌پردازد. که در نهایت یک سیاست وارانتی بر مبنای اطلاعات[8] ارائه داد [۱۷]. در سال ۲۰۱۶ هانگ مدل دیگری ارائه داد که علاوه‌بر اهداف قبلی با هدف ایجاد یک زمان‌بندی برای وارانتی های گسترده بعد از اتمام وارانتی اولیه بر مبنای وارانتی دوبعدی (وارانتی – فراوارانتی) بود. هانگ با به دست آوردن متغیر تصادفی نرخ استفاده از محصول به زمان عملکرد آن (R_i) یک دسته‌بندی برای مشتریان انجام داده و بر طبق آن سیاست وارانتی را پیاده‌سازی کرد [۱۸]. در ادامه جمع‌بندی پیشینه‌ی فوق و مقایسه‌ی پژوهش‌های حاضر با آن در جدول (۱) آورده شده است.

1. Non – Repairable
2. Complex systems
3. Minimal Repair
4. Complete Repair
5. Imperfect Repair
6. Basic warranty
7. Time & Usage
8. Information – Based warranty

جدول (۱): خلاصه‌ای از پیشینه تحقیق

نویسنده	سال	از دید فروشنده	از دیدی مشتری	تعین طول دوره	سیاست دوران وارانتی	تعویض کالا	تعمیر کالا	وارانتی گسترش‌یافته	قابل-تمدید	دسته‌بندی مشتریان
شفیعی	۲۰۱۳	*	*		*			*		
جانگ	۲۰۱۵	*				*	*	*	*	
وانگ	۲۰۱۵	*					*		*	
سو	۲۰۱۶	*			*		*		*	*
شانگ	۲۰۱۶	*		*		*				
پارک	۲۰۱۶	*		*	*		*		*	
لی	۲۰۱۶	*	*	*	*		*			
هانگ	۲۰۱۷	*					*	*	*	*
پژوهش حاضر		*	*		*	*	*	*	*	*

۴- معرفی مدل پیشنهادی

در بازار رقابتی امروز وارانتی محصول نقش مهمی را ایفا می‌کند. در حال حاضر حداکثر محصولات موجود در بازار با یک دوره وارانتی از طرف تولیدکننده و یا فروشده عرضه می‌شوند. در طی این مدت تولیدکننده قطعه‌ی خراب را یا توسط یک قطعه‌ی سالم جایگزین یا آن را تعمیر می‌کند. این تعمیر یا تعویض قطعه‌ی خراب هزینه‌هایی را برای فروشنده یا تولیدکننده به دنبال دارد. کنترل این هزینه‌ها یکی از مسائلی است که در اولویت تولیدکننده‌ها قرار گرفته است. تاکنون مدل‌های مختلفی برای تعیین زمان تعویض و یا تعمیر بیان‌شده که هر کدام به بررسی و کمینه کردن بخشی از این هزینه‌ها پرداخته است. برخی از مدل‌ها تنها هزینه‌ها را از دید فروشنده (تولیدکننده) کمینه کرده و بعضی دیگر مشتری را در اولویت خود قرار داده‌اند. در این میان مدل‌هایی با عنوان مدل‌های ترکیبی وجود دارد که هزینه‌ها را از نگاه فروشنده و مشتری به‌طور همزمان موردبررسی قرار داده و سعی در کمینه کردن این هزینه‌ها با توجه به منافع هر دوی آن‌ها یعنی هم فروشنده (تولیدکننده) و هم مشتری داشته است.

اما همه این مدل‌ها یک وجه تشابه دارند؛ در تمام مدل‌هایی که تاکنون ارائه شده است کم‌تر به نوع مشتریان توجه شده است. در مدل‌های ارائه شده قبلی و نیز در مدل جانگ، یک سیاست وارانتی برای تمام مشتریان به‌صورت یکسان در نظر گرفته‌شده درصورتی‌که به نظر می‌رسد دسته‌بندی مشتریان از نظر نرخ مصرف می‌تواند هم باعث کاهش هزینه‌های وارانتی برای فروشنده و هم باعث افزایش رضایت‌مندی مشتریان شود.

در این تحقیق برای نشان دادن این مسأله به ارائه مدلی با توجه به دسته‌بندی مشتریان از نظر نرخ مصرف پراخته شده است و بعد از محاسبه هزینه‌ها و مقایسه آن با مدل اصلی (جانگ) کاهش هزینه‌های مدل جدید نشان داده شده است. در این مدل ابتدا مشتریان به دو دسته تقسیم‌بندی شده و سپس برای هر دسته یک سیاست نگهداری و تعمیرات به‌گونه‌ای که دارای حداقل هزینه‌ها باشد، ارائه شده است. حال به معرفی دسته‌ها و چگونگی تقسیم‌بندی مشتریان در هر دسته پرداخته می‌شود و سپس هزینه‌های مدل ارائه شده محاسبه می‌شود.

در واقع تفاوت اصلی این مدل با مدل‌های قبلی و نیز مدل جانگ، ارائه‌ی سیاست نگهداری و تعمیرات براساس نوع مشتریان است،که در مدل‌های قبلی و مدل جانگ این مسأله در نظر گرفته نشده و همین امر سبب افزایش هزینه‌های وارانتی گردیده است. در واقع با شناخت و دسته‌بندی مشتریان، می‌توان برای هر دسته یک سیاست وارانتی با مدت زمان خاص ارائه داد که همین امر (متغیر بودن مدت زمان وارانتی) سبب کاهش هزینه‌های کل وارانتی گردیده است.

۴-۱- فرضیات مدل

۱) محصول قابلیت تعمیر را دارا باشد یا به عبارتی تعمیر پذیر باشد.
۲) هنگامی‌که در یک مرحله نیاز به سیاست تعویض محصول (باتوجه به نوع مشتری) باشد، محصول جایگزین باید تمام شرایط محصول اولیه را دارا باشد.
۳) اطلاعات مشتری و محصول موجود باشد (سابقه‌ی استفاده از محصول در دسترس باشد).
۴) دوره‌های وارانتی (w_i) از قبل تعیین شده و موجود باشند.
۵) میزان استفاده از محصول توسط هر مشتری (میزان کارکرد محصول توسط هر مشتری) مشخص است.(x_i)

۴-۲- معرفی پارامترها

تمامی پارامترها استفاده شده در مدل به‌صورت کامل در جدول شماره (۲) آورده شده است.

جدول(۲): معرفی پارامترها

نماد	توضیحات	نماد	توضیحات
RW	جایگزینی (تعویض)/تمام هزینه‌ها بر عهده‌ی تولیدکننده است.	C_e	هزینه واحد برای خرید وارانتی
MW	تعمیر/ در این مرحله مشتری مسئول قسمتی از این هزینه‌ها است.	C_r	هزینه واحد جایگزینی
FRRW	وارانتی تعمیر/ جایگزینی رایگان/ تمام هزینه‌ی تعویض با تولیدکننده است.	σ	طول هر ضمانت‌نامه/ توسط مشتری مشخص می‌شود.
PRW	هر دو (تولیدکننده و مشتری) مشترک در هزینه می‌باشند.	K	تعداد دوره‌ی ضانت نامه
RW	وارانتی تعویض	τ	طول دوره‌ی نگهداری تحت وارانتی گسترش‌یافته
MW	تعمیرات حداقلی در دوره وارانتی	λ	پارامتر سوم وایبال
T	زمان خرابی سیستم	β	نرخ شکست
f(t)	تابع چگالی زمان خرابی	$ECL(\tau)$	طول مورد انتظار از چرخه‌ی زندگی
F(t)	تابع تجمعی خرابی	$ETC(\tau)$	کل هزینه‌ی مورد انتظار
W	دوره‌ی وارانتی دو فازی اولیه	$C(\tau)$	نرخ هزینه‌های مورد انتظار در واحد زمان/ طول عمر مورد انتظار/ETC
A	پارامتر نسبت فازی / α بین صفر و یک	C_{BW}	هزینه پایه دوره گارانتی
h(t)	تابع خرابی	C_{EW}	هزینه تمدید دوره گارانتی
C_{FW}	هزینه واحد خرابی در طول دوره‌ی وارانتی دوفازی اصلی در دوره‌ی زمانی	C_M	هزینه دوره نگهداری و تعمیرات
C_{FEW}	هزینه واحد خرابی در طول دوره‌ی وارانتی گسترده	C_r	هزینه واحد جایگزین کردن
C_{ew}	هزینه خرابی واحد در طول دوره‌ی ضمانت‌نامه	T_{cn}	هزینه کل محاسبه شده به روش جدید
C_{FM}	هزینه‌ی خرابی واحد در طول دوره‌ی نگهداری	T_c	هزینه کل محاسبه شده
C_{MW}	هزینه حداقل تعمیرات برای مشتری تحت وارانتی PRW	α	ضریب تفکیک
C_m	هزینه حداقل تعمیر	Ri	ضریب مصرف
مقادیر α	۰ C_r هزینه واحد جایگزین کردن ۰/۷۵	-	-
	از پرمصرف ..... تا کم مصرف	-	-

تعداد خرابی‌های سیستم در بازه زمانی αW از توزیع هندسی پیروی می‌کند. همچنین زمان خرابی سیستم (T) دارای توزیع وایبال است.

به‌منظور محاسبه هزینه کل در طول دوره‌های وارانتی، ۳ گام زیر به ترتیب اجرا می‌گردد.

گام ۱. دسته‌بندی کردن مشتریان و مشخص کردن درصد آن‌ها (θ و ۱-θ)

در ابتدا قبل از ورود به محاسبات عددی مدل، مشتریان به دو دسته‌ی پرمصرف و کم مصرف تقسیم می‌گردند. برای تقسیم مشتریان به دو دسته‌ی ذکر شده از ضریبی به نام ضریب مصرف Ri استفاده شده که این ضریب Ri از تقسیم پارامتر "مقدار استفاده از محصول" (xi) بر "زمان کارکرد محصول" (Ti) به دست می‌آید. این مقدار Ri برای هر مشتری متفاوت است. با این تعاریف می‌توان گفت که Ri یک متغیر تصادفی است که نشان‌دهنده‌ی نرخ استفاده از محصول به زمان کارکرد محصول برای مشتری i اُم است که دارای یک توزیع عمومی G(r) بوده. پس مقدار Ri را می‌توان با به دست آوردن سوابق هر مشتری محاسبه کرد. پس از محاسبه‌ی Ri برای هر مشتری، مقادیر به‌دست‌آمده به ترتیب صعودی مرتب می‌شوند. برای تقسیم مشتریان به دو دسته ذکر شده از مفهوم میانگین استفاده می‌گردد. برای این کار ابتدا از بین Ri های به‌دست‌آمده میانگین را مشخص نموده (که به اختصار Rm ن.) و امیده شده است)، سپس هر یک از Ri ها با Rm مقایسه می‌گردد. اگر $Ri \geq Rm$ باشد در دسته‌ی پرمصرف‌ها و اگر $Ri < Rm$ باشد در دسته‌ی کم‌مصرف‌ها قرار می‌گیرد. بنابراین درصد مشتریان کم مصرف و پرمصرف نیز مشخص می‌گردد. پس از دسته‌بندی مشتریان برای هر کدام از دسته‌ها یک سیاست نت برای دوران وارانتی ارائه گردیده است. به‌عنوان‌مثال برای دسته‌ی اول (مشتریان با مصرف کم) یک سیاست نگهداری و تعمیرات دوره‌ای پیشنهاد شده و برای دسته‌ی دوم (مشتریان پرمصرف) یک سیاست نگهداری و تعمیرات (pm) غیر دوره‌ای پیشنهاد گردیده است.

گام ۲. مشخص کردن ترکیب‌های دوتایی بهینه مقدار ضریب تفکیک (α) برای مشتریان کم مصرف و پرمصرف

به‌منظور محاسبه هزینه‌های وارانتی، در ابتدا برای هر دسته از مشتریان (کم مصرف و پرمصرف)، حالات بهینه مقدار ضریب تفکیک در نظر گرفته می‌شود.

گام ۳. محاسبه هزینه‌ها

پس از دسته‌بندی کردن مشتریان (تقسیم در دو دسته موجود) و مشخص کردن سیاست نگهداری و تعمیرات برای هر دسته، به محاسبه هزینه‌ها پرداخته می‌شود.

- **تشریح مدل:**

مدلی که در این پژوهش ارائه شده است شامل سه بخش دوران وارانتی پایه، دوران وارانتی گسترده و دوران تعمیراتی است:

۱. دوران وارانتی اصلی (پایه)[1]:

این دوره که به‌عبارتی دوره اصلی وارانتی محسوب می‌شود از دو بخش دوره تعویض (RW) و دوره تعمیر(MW) تشکیل شده است. بازه‌های RW و MW برای دسته‌های مختلف متفاوت بوده و برای هر مشتری براساس دسته‌ای که در آن قرار می‌گیرد (کم مصرف یا پرمصرف)، مقدار خاصی دارد. هدف مدل جدید کاهش هزینه‌های وارانتی با انتخاب بازه مناسبی از RW و MW است که برای انتخاب مرز میان این دو در این دوره از ضریب تفکیک (α) استفاده شده است. در هر کدام از بخش‌های RW و MW خدمات متفاوتی ارائه می‌گردد. در دوره‌ی RW در صورت خراب شدن کالا، اگر امکان تعمیر آن وجود داشته باشد به‌گونه‌ای که کالا پس از تعمیر به‌عنوان یک کالای نو محسوب شود، آن کالا تعمیر می‌گردد در غیر این صورت کالا با یک کالای نو دیگر تعویض می‌شود. پس از تعویض کالا دوره‌ی RW از صفر شروع شده و تمام خدمات از نو ارائه می‌شوند این تعویض (تعمیر) به شکلی است که گویا فرد کالا را تازه خریداری کرده است. شایان‌ذکر است که در این بازه تمام هزینه‌ها بر عهده‌ی فروشنده (تولیدکننده) است و مشتری هیچ‌گونه هزینه‌ای را پرداخت نمی‌کند. اما در دوره‌ی MW سیاست شرکت تنها تعمیر کالای خراب است. در این دوره تنها تعمیر صورت می‌گیرد و کالا پس از تعمیر همانند یک کالای دست دوم به‌حساب می‌آید. در این دوره هزینه‌ها به‌صورت مشترک بوده یعنی به عبارتی در این دوره هم تولیدکننده و هم مشتری (خریدار) هر دو در هزینه‌ها مشترک می‌باشند.

۲. دوران وارانتی گسترش‌یافته:[2]

این دوره‌یک مدت زمان مازاد بر دوره وارانتی پایه بوده که در آن یک مجموعه از خدمات دوران وارانتی پایه با سطح خدمت کمتری ارائه می‌گردد.این دوره شباهت زیادی به قسمت MW در دوره وارانتی پایه دارد. در این دوره فقط تعمیرات وجود دارد و هزینه‌های مربوطه بین تولیدکننده و مصرف‌کننده مشترک است و بسته به درخواست مشتری تعداد دفعات استفاده از خدمات وارانتی متفاوت (k) است. (شکل ۱).

۳. دوره تعمیراتی:

در این دوره نیز هم چون دو دوره قبل خدماتی ارائه می‌گردد با این تفاوت که در این دوره پایین‌ترین سطح خدمات ارائه می‌گردد و بار هزینه‌ها بیشتر بر دوش مصرف‌کنندگان است (شکل ۱). برای درک بهتر مدل در شکل(۱) یک طرح گرافیکی (نمودار) از مدل ارائه شده است.

شکل (۱): نمای گرافیکی مدل ارائه شده

در ادامه به‌منظور مقایسه‌ی مدل ارائه شده با مدل‌های قبلی مطرح‌شده (به‌خصوص مدل جانگ)، از یک معیار استفاده می‌شود. معیار به‌کار برده شده در این مقاله، معیار محاسبه‌ی نرخ هزینه‌ی مورد انتظار بر واحد زمان در طول دوره‌ی عمر (سیکل) محصول است. در واقع پس از محاسبه‌ی نرخ هزینه‌ی مورد انتظار در هر دو بازه‌ی PRW و FRRW و سپس محاسبه‌ی مجموع هزینه‌های این دو مقدار، می‌توان نتیجه‌ی حاصل از دسته‌بندی مشتریان را از نظر صرفه‌جویی در هزینه‌ی کل بررسی نمود.

نرخ هزینه‌های مورد انتظار [۱۲]:

در ابتدا به محاسبه‌ی طول عمر مورد انتظار از چرخه‌ی عمر پرداخته شده است:

$$ELC(t)=\sum_{j-1}^{n}E\left(T_j<\propto W,N=n\right)+\left(w+K\delta+t\right)$$
$$=n\frac{I(\alpha W)}{F(\alpha W)}+\left(W+K\delta+t\right) \quad (۱)$$

همچنین تعداد خرابی‌های سیستم در طول دوره‌ی RW دارای توزیع هندسی زیر است:

$$P(N=n)=\bar{F}(\propto W)F^{n}(\propto W),n=1,2,3,\ldots \quad (۲)$$

با جایگذاری تعداد خرابی‌ها (n) در فرمول اول، به رابطه‌ی زیر برای طول عمر مورد انتظار رسیده شده است:

$$ECL(t)=\sum_{j-0}^{\infty}\bar{F}(\propto W)F^{j}(\propto W)\left\{j\frac{I(\alpha W)}{F(\alpha W)}+\left(w+K\delta+t\right)\right\}$$
$$=\frac{I(\alpha W)}{\bar{F}(\propto W)}+\left(w+K\delta+t\right) \quad (۳)$$

نرخ هزینه‌های مورد انتظار:

حال می‌توان مقدار نرخ هزینه‌های مورد انتظار کل را که شامل هزینه های دوران وارانتی اولیه، وارانتی گسترده و دوره‌ی پس از وارانتی گسترده است محاسبه نمود:

$$ETC(t)=E\left(C_{BW}\right)+E\left(C_{EW}\right)+E\left(C_{M}\right)+C_{r} \quad (۴)$$

در ادامه به محاسبه‌ی تک‌تک این سه هزینه (وارانتی اولیه،وارانتی گسترده و وارانتی تعمیراتی) پرداخته شده است:

1. Basic Warranty
2. Extended Warranty

$$E(C_{BW})=\begin{cases} nC_{fw}+C_{fw}\int_{\infty w}^{w}h(t)dt & FRRW \\ n\frac{cr}{\infty w}\frac{I(\alpha W)}{F(\alpha W)}+nC_{fw}+(C_{Mw}+C_{fw})\int_{\infty w}^{w}h(t)dt & PRW \end{cases} \quad (۵)$$

$$E(C_{EW})=kC_e+C_{fw}\int_{w}^{w+K\delta}h(t)dt \quad (۶)$$

$$E(C_M)=(C_M+C_{fm})\int_{w+K\delta}^{w+K\delta+t}h(t)dt \quad (۷)$$

با جمع مقادیر هزینه‌های روابط ۵و۶و۷ ،به هزینه‌ی مورد انتظار کل می‌رسیم:

$$ETC=\begin{cases} C_{fw}\frac{F(\alpha W)}{\bar{F}(\infty W)}+C_{fw}\int_{\infty w}^{w}h(t)dt+kC_e+ \\ C_{fw}\int_{w}^{w+K\delta}h(t)dt+(C_M+C_{fm})\int_{w+K\delta}^{w+K\delta+t}h(t)dt+C_r & FRRW \\ \frac{cr}{\infty w}\frac{I(\alpha W)}{\bar{F}(\infty W)}+C_{fw}\frac{F(\alpha W)}{\bar{F}(\infty W)}+(C_{Mw}+C_{fw})\int_{\infty w}^{w}h(t)dt+ \\ kC_e+C_{fw}\int_{w}^{w+K\delta}h(t)dt+(C_M+C_{fm})\int_{w+K\delta}^{w+K\delta+t}h(t)dt+C_r & PRW \end{cases} \quad (۸)$$

با جایگذاری رابطه‌ی دوم (تعداد خرابی‌ها=n) در رابطه‌ی ۸ به رابطه‌ی زیر می‌رسیم:

$$ETC=\begin{cases} nC_{fw}+C_{fw}\int_{\infty w}^{w}h(t)dt+kC_e+C_{fw}\int_{w}^{w+K\delta}h(t)dt+ \\ (C_M+C_{fm})\int_{w+K\delta}^{w+K\delta+t}h(t)dt+C_r & FRRW \\ n\frac{cr}{\infty w}\frac{I(\alpha W)}{F(\alpha W)}+nC_{fw}+(C_{Mw}+C_{fw})\int_{\infty w}^{w}h(t)dt+kC_e+ \\ C_{fw}\int_{w}^{w+K\delta}h(t)dt+(C_M+C_{fm})\int_{w+K\delta}^{w+K\delta+t}h(t)dt+C_r & PRW \end{cases} \quad (۹)$$

حال با تقسیم مقدار هزینه‌ی مورد انتظار (رابطه‌ی ۹) بر طول عمر مورد انتظار (رابطه‌ی ۱۰) به رابطه‌ی زیر که مدنظر بود خواهیم رسید:

$$C(t)=\frac{ETC(t)}{ECL(t)}=\frac{C_0+\bar{F}(\infty W)(C_M+C_{fm})\int_{w+K\delta}^{w+K\delta+t}h(t)dt}{I(\alpha W)+\bar{F}(\infty W)(w+K\delta+t)} \quad (۱۰)$$

که c_0 نمادی جهت کوتاه کردن فرمول بالا است و برابر است با رابطه‌ی زیر:

$$C_0=\begin{cases} F(\alpha W)C_{fw}+ \\ \bar{F}(\infty W)\left\{C_{fw}\int_{\infty w}^{w}h(t)dt+kC_e+C_{fw}\int_{w}^{w+K\delta}h(t)dt+C_r\right\} & FRRW \\ \frac{cr}{(\infty w)}I(\alpha W)+F(\alpha W)C_{fw}+\bar{F}(\infty W)\{(C_{Mw}+C_{fw})\int_{\infty w}^{w}h(t)dt \\ +kC_e+C_{fw}\int_{w}^{w+K\delta}h(t)dt+C_r\} & PRW \end{cases} \quad (۱۱)$$

مثال عددی

در این مثال، مقادیر پارامترها به‌صورت جدول ۳ در نظر گرفته‌شده است.

جدول (۳): مقادیر پارامترها

β	λ	K	W	α	σ	C_e	C_{MW}	C_m	C_{FM}	C_{FW}	C_{FEW}
۳	/۱ ۰	۰ و ۲	۲	/۲۵ ۰	/۵ ۰	۲	۵/۱	۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵

مقادیر بهینه‌ی طول دوره‌ی وارانتی گسترده (τ^*) و هزینه‌ی کل طی این دوره $C(\tau^*)$ به روش جانگ، پس‌ازآنجام محاسبات به‌صورت کلی در جدول (۴) نمایش داده شده است.

در انجام محاسبات با تغییر مقادیر C_r و k مقادیر بهینه‌ی (τ^*) و

جدول (۴): نتایج به‌دست‌آمده از محاسبات

Cr	K	PRW		FRRW	
		τ	C(τ)	τ	C(τ)
۳۰	۲	۱۰/۷۶۱۳	۳/۶۹۲۷۶	۱۰/۷۵۹۳	۳/۶۹۱۸۱
	۰	۱۱/۲۱۰۵	۳/۴۰۳۱۸	۱۱/۲۰۸۹	۳/۴۰۲۲۶
۵۰	۲	۱۳/۰۶۲۹	۵/۰۳۱۳۴	۱۳/۰۶۱۷	۵/۰۳۰۴۸
	۰	۱۳/۶۶۴۹	۴/۷۸۵۱۰	۱۳/۶۶۳۷	۴/۷۸۴۳۲
۷۰	۲	۱۴/۸۴۵۳	۶/۲۰۹۹۴	۱۴/۸۴۴۱	۶/۲۰۹۱۴
	۰	۱۵/۵۲۵۳	۵/۹۸۹۰۲	۱۵/۵۲۴۱	۵/۹۸۸۳۳

$C(\tau^*)$ به‌دست‌آمده است. برای هر دسته با مقایسه‌ی $C(\tau^*)$ مقدار بهینه از میان $C(\tau^*)$ ها (کمترین مقدار) انتخاب شده و $C\tau^*$ مربوطه به‌عنوان $C\tau^*$ بهینه (هزینه بهینه طول دوره‌ی وارانتی گسترده) انتخاب گردیده است. در واقع τ^* نشان‌دهنده‌ی زمان بهینه‌ی نگهداری کالا در طول دروه ی وارانتی گسترده است. در ادامه به ازای مقادیر مختلف α برای هر دسته از مشتریان یک زمان بهینه‌ی وارانتی گسترده (τ^*) محاسبه شده است. با دقت در نتایج به‌دست‌آمده متوجه می‌شویم که هر چه مقدار هزینه تعمیر (C_r) افزایش یابد مقدار τ^* نیز افزایش می‌یابد به این دلیل که هزینه‌ی تعمیر با مستهلک شدن کالا لحظه‌به‌لحظه به‌صورت صعودی افزایش می‌یابد و در نتیجه تعداد خرابی در واحد زمان افزایش می‌یابد و به طبع آن نیاز به زمان بیشتری برای نگهداری کالا است. همچنین به ازای افزایش تعداد دفعات وارانتی (k) مقدار τ^* کاهش یافته است. این بدین معنی است که هر چه مشتری تعداد دفعات وارانتی گسترده‌ی بیشتری را طلب کند از دید تولیدکننده به‌صرفه‌تر خواهد بود که طول دوره‌ی وارانتی کمتری در نظر گرفته شود. با افزایش α (رفتن از دسته‌ی مشتریان پرمصرف به مشتریان با مصرف کم) مقدار τ^* و $C(\tau^*)$ در دوره‌ی PRW افزایش یافته و در دوره‌ی FRRW کاهش یافته است. و نیز با افزایش α (رفتن از دسته‌ی مشریان پرمصرف به‌سمت مشتریان با مصرف کم) می‌توان به‌صورت واضحی نتیجه گرفت که مقدار بهینه‌ی طول دوره‌ی وارانتی گسترده افزایش یافته و به‌دنبال آن مقدار بهینه‌ی هزینه‌ی کل $C(\tau^*)$ نیز افزایش یافته است. همچنین با افزایش β (نرخ شکست) و λ (پارامتر سوم توزیع وایبال) مقدار τ^* و $C(\tau^*)$ چه در دوره‌ی PRW و چه در

دوره‌ی FRRW کاهش یافته است. با توجه به توضیحات داده شده در می‌یابیم که فروشنده (تولیدکننده) در دو بخش RW و MW هزینه‌های مختلفی را متحمل می‌شود. با توجه به تحقیقات انجام شده فروشنده (تولیدکننده) در دوره RW بیشترین احتمال هزینه را دارا است. پس یکی از مسائل پیش‌رو برای مدل ارائه شده مشخص کردن مدت زمان RW است. در مدل ارائه شده در این پژوهش ابتدا مشتریان را طبق روشی که قبلاً ذکر شد به دو دسته تقسیم نموده و سپس برای هر دسته به‌صورت جداگانه یک مقدار α تعریف شده است. باتوجه به محاسبات انجام شده این نتیجه به‌دست می‌آید که در تمام حالات تقسیم‌بندی مشتریان به دو دسته باعث کاهش هزینه‌ها هم از دید فروشنده و افزایش رضایت مصرف‌کنندگان گشته است که نمونه‌ای از نتایج آن (با درنظر گرفتن α=۰/۷۵ برای مشتریان کم مصرف و α=۰/۲۵ برای مشتریان پرمصرف) در جدول (۵) آورده شده است. باید به این نکته توجه داشت که هرچه میزان α بزرگ‌تر باشد به معنای این است که مشتری مدت زمان بیشتری را در دوره RW قرار دارد و تولیدکننده باید مدت زمان بیشتری خدمات ویژه ارائه بدهد که باعث افزایش هزینه‌ها برای تولیدکننده می‌شود. جهت انتخاب α برای مشتریان کم مصرف و پرمصرف می‌توان از ترکیبات دوتایی بسیاری استفاده کرد ولی برای انتخاب مقادیر بهینه، محدودیت (α پرمصرف) < (α کم مصرف) وجود دارد. اگر مقدار α مشخص شده برای مشتریان پرمصرف بیشتر از مشتریان کم مصرف شود باعث افزایش هزینه‌ها برای تولیدکننده می‌شود و از طرف دیگر مشتریان کم مصرف نیز انتظاراتشان برآورده نمی‌شود که این خود باعث ایجاد نارضایتی آن‌ها می‌گردد. پس بهترین حالت این است که در هر صورت مقدار α برای مشتریان کم مصرف بزرگ‌تر از مقدار α برای مشتریان پرمصرف باشد تا هم باعث جلب رضایت مشتریان گردد و هم مانع افزایش بی‌رویه هزینه‌ها شود. بدین منظور تعداد ترکیب‌های دوتایی برای مقادیر α (برای مشتریان کم مصرف و پرمصرف) با توجه به بازه α (۰ تا ۱)، ۳ تا است که عبارتند از: α=۰/۷۵ برای مشتریان کم مصرف و α= ۰/۲۵ برای مشتریان پرمصرف، α=۰/۷۵ برای مشتریان کم مصرف و α= ۰/۵ برای مشتریان پرمصرف، α=۰/۵ برای مشتریان کم مصرف و α= ۰/۲۵ برای مشتریان پرمصرف. در جدول ۴ نمونه‌ای از نتایج محاسبات هزینه کل برای α=۰/۷۵ برای مشتریان کم مصرف و α= ۰/۲۵ برای مشتریان پرمصرف آورده شده و مقدار هزینه کل با روش جانگ (TC) و مقدار هزینه کل با روش جدید (TCn) مقایسه گردیده است.

جدول (۵): مقادیر بهینه‌ی هزینه‌ی کل وارانتی با درنظر گرفتن α=۰/۷۵ برای مشتریان کم مصرف و α= ۰/۲۵ برای مشتریان پرمصرف

β	λ	Cr	Cm					
			۳		۵		۷	
			TCn	TC	TCn	TC	TCn	TC
۲	۰/۱	۳۰	*۴/۹۳۱۸۹۶	۴/۹۳۴۴۷	۵/۹۱۱۵۳۵	۵/۹۱۴۴۶	۶/۷۴۱۹۲۲	۶/۷۴۵۰۹
		۵۰	۶/۲۲۳۶۳۹	۶/۲۲۶۷۸	۷/۴۶۷۳۰۹	۷/۴۷۰۹	۸/۵۲۴۷۹۶	۸/۵۲۸۷۲
		۷۰	۷/۲۸۹۹۸۴	۷/۲۹۳۶۲	۸/۷۵۰۷۳۵	۸/۷۵۴۹۲	۹/۳۳۳۱۵۲	۹/۹۹۹۱۷
	۰/۱۳	۳۰	۶/۳۹۷۰۷۵	۶/۴۰۲۲۵	۷/۶۵۳۳۴۵	۷/۶۵۹۰۶	۸/۷۱۱۷۷۲	۸/۷۱۷۸۲
		۵۰	۸/۰۸۰۰۳۱	۸/۰۸۶۴۳	۹/۶۸۳۲۸۷	۹/۶۹۰۴۶	۱۱/۰۴۱۵۱۷	۱۱/۰۴۹۲۳
		۷۰	۹/۴۶۸۴۵۳	۹/۴۷۵۹۵	۱۱/۳۵۶۰۰۴	۱۱/۳۶۴۵	۱۲/۹۵۹۰۱۳	۱۲/۹۶۸۲۲
	۰/۱۵	۳۰	۷/۳۶۷۶۸	۷/۳۷۵۱۵	۸/۸۰۰۹۳	۸/۸۰۹۰۳	۱۰/۰۰۲۲۶۴	۱۰/۰۱۰۶۷
		۵۰	۹/۳۱۳۰۱۹	۹/۳۲۲۳۷	۱۱/۱۵۰۱۹۹	۱۱/۱۶۰۵۴	۱۲/۷۰۱۸۱۶	۱۲/۷۱۲۷۶
		۷۰	۱۰/۹۱۷۰۷۸	۱۰/۹۲۸۱۳	۱۳/۰۸۴۲۸۴	۱۳/۰۹۶۶۵	۱۴/۹۲۰۷۵۲	۱۴/۹۳۴
۳	۰/۱	۳۰	۶/۵۳۹۶۹۳	۶/۵۴۰۲۶	۷/۳۸۴۶۳۸	۷/۳۸۵۲۵	۸/۰۶۶۸۲۲	۸/۰۶۷۴۷
		۵۰	۸/۹۰۷۱۱۵	۸/۹۰۷۷۹	۱۰/۰۶۱۹۰۳	۱۰/۰۶۲۶۵	۱۰/۹۹۵۷۴۸	۱۰/۹۹۶۵۴
		۷۰	۱۰/۹۹۱۸۴۹	۱۰/۹۹۲۶۵	۱۲/۴۱۹۱۷۶	۱۲/۴۲۰۰۴	۱۳/۵۷۴۲۶۳	۱۳/۵۷۵۱۹
	۰/۱۳	۳۰	۸/۴۸۶۷۷۴	۸/۴۸۸۲۵	۹/۵۷۱۰۲۷	۹/۵۷۲۶۲	۱۰/۴۴۱۷۳۶	۱۰/۴۴۳۴۱
		۵۰	۱۱/۵۶۶۶۲	۱۱/۵۶۸۴۲	۱۳/۰۵۵۷۲۵	۱۳/۰۵۷۶۶	۱۴/۲۵۵۹۲۶	۱۴/۲۵۷۹۶
		۷۰	۱۴/۲۷۸۱۱۵	۱۴/۲۸۰۲۳	۱۶/۱۲۲۷۳۳	۱۶/۱۲۵۰۱	۱۷/۶۱۱۹۲۸	۱۷/۶۱۴۳۴
	۰/۱۵	۳۰	۹/۷۷۵۵۶۵	۹/۷۷۸۰۴	۱۱/۰۱۰۴۹۳	۱۱/۰۱۳۱۳	۱۱/۹۹۶۷۸۵	۱۱/۹۹۹۵۳
		۵۰	۱۳/۳۳۱۷۴۶	۱۳/۳۳۴۷۷	۱۵/۰۳۶۱۳۸	۱۵/۰۳۹۳۶	۱۶/۴۰۵۳۰۲	۱۶/۴۰۸۶۵
		۷۰	۱۶/۴۶۱۹۰۶	۱۶/۴۶۵۴۷	۱۸/۵۷۷۹۰۳	۱۸/۵۸۱۷۱	۲۰/۲۸۲۱۱۱	۲۰/۲۸۶۰۸
۴	۰/۱	۳۰	۷/۱۹۳۵۰۸	۷/۱۹۳۵۸	۷/۸۸۳۳۴	۷/۸۸۳۴۳	۸/۴۲۷۱۶۱	۸/۴۲۷۲۶
		۵۰	۱۰/۱۷۹۰۸۱	۱۰/۱۷۹۱۸	۱۱/۱۵۶۷۰۲	۱۱/۱۵۶۸۱	۱۱/۹۲۷۹۲۲	۱۱/۹۲۸۰۳
		۷۰	۱۲/۸۹۳۶۱۲	۱۲/۸۹۳۷۲	۱۴/۱۳۲۸۱۳	۱۴/۱۳۲۹۳	۱۵/۱۱۰۶۶۴	۱۵/۱۱۰۷۹
	۰/۱۳	۳۰	۹/۳۴۲۷۳۲	۹/۳۴۳۰۲	۱۰/۲۳۱۸۶۴	۱۰/۲۳۲۱۷	۱۰/۹۳۰۳۹۵	۱۰/۹۳۰۷۱
		۵۰	۱۳/۲۲۴۹۵۵	۱۳/۲۲۵۲۷	۱۴/۴۸۹۰۴۸	۱۴/۴۸۹۳۹	۱۳/۴۳۴۹۸۱	۱۵/۴۸۴۴۷
		۷۰	۱۶/۷۵۴۴۵	۱۶/۷۵۴۸۱	۱۸/۳۵۹۱۰۳	۱۸/۳۵۹۴۹	۱۹/۶۲۳۳۸۴	۱۹/۶۲۳۷۸
	۰/۱۵	۳۰	۱۰/۷۶۷۹۶۲	۱۰/۷۶۸۵۲	۱۱/۷۸۳۳۵۶	۱۱/۷۸۳۹۵	۱۲/۵۷۷۷۸۹	۱۲/۵۷۸۴۱
		۵۰	۱۵/۲۴۸۷۸۹	۱۵/۲۴۹۴۱	۱۶/۶۹۷۹۹۳	۱۶/۶۹۸۶۵	۱۷/۸۳۵۸۴۶	۱۷/۸۳۶۵۳
		۷۰	۱۹/۳۲۲۱۰۸	۱۹/۳۲۲۸۱	۲۱/۱۶۴۹۸۲	۲۱/۱۶۵۷۲	۲۲/۶۱۴۲۴۵	۲۲/۶۱۵۰۱

در ادامه نمونه‌ای از روش محاسبه TCn آورده شده است. مقادیر جدول برگرفته از مدل جانگ است.

جدول (۶): نمونه روش محاسبه هزینه

	α برای مشتریان پرمصرف	α برای مشتریان کم مصرف
TCn	0.25	0.75	θ
4.931896	4.93161	4.93447	0.1
4.932182	4.93161	4.93447	0.2
4.932468	4.93161	4.93447	0.3
4.932754	4.93161	4.93447	0.4
4.93304	4.93161	4.93447	0.5
4.933326	4.93161	4.93447	0.6
4.933612	4.93161	4.93447	0.7
4.933898	4.93161	4.93447	0.8
4.934184	4.93161	4.93447	0.9
*4.931896	min(TCn)		

همان‌گونه که در جدول (۶) مشاهده می‌گردد، با در نظر گرفتن حالت خوش بینانه، به‌طور دلخواه، min(TCn) به‌عنوان مقدار بهینه هزینه کل به روش جدید در نظر گرفته شده است. با دقت در این جدول مشاهده می‌گردد که مقادیر بهینه هزینه کل به روش جدید (TCn) به ازای درصدهای مختلف از مشتریان (θ)، در هر خانه از جدول، نسبت به مقادیر بهینه هزینه کل به روش جانگ (TC) کمتر است و این موضوع، برتری روش جدید را نسبت به روش جانگ اثبات می‌کند.

فرمولی که برای محاسبه هزینه کل به روش جدید استفاده شده به‌صورت رابطه ۱۲ است.

$$TCn = \theta \text{ (هزینه کل به ازای } \alpha \text{ ی مشتریان کم مصرف)} + (1-\theta) \text{ (هزینه کل به ازای } \alpha \text{ ی مشتریان پرمصرف)} \quad (۱۲)$$

۵- تحلیل حساسیت

به‌منظور تحلیل حساسیت هزینه‌ی کل وارانتی (TC_n) نسبت به تغییر درصد مشتریان کم مصرف یا پرمصرف (θ)، با درنظر گرفتن مقادیر ثابت β=2 (نرخ شکست)، λ = ۰/۱ (پارامتر سوم توزیع وایبال)، C_r =30 (هزینه‌ی واحد جایگزین کردن) و در نظر گرفتن سه مقدار متفاوت برای C_m (هزینه‌ی حداقل تعمیر) به محاسبه‌ی مقادیر بهینه‌ی هزینه پرداخته شده است. برای این کار مقدار پارامتر ضریب تفکیک (α) برای مشتریان کم مصرف و پرمصرف به‌صورت جدا در نظر گرفته‌شده که برای ۴۵ ترکیب مختلف برای مشتریان کم مصرف و پرمصرف تحلیل گردیده است. در این قسمت به‌منظور نشان دادن تأثیر درصد مشتریان کم مصرف و پرمصرف در مقدار هزینه‌ی کل و تأثیر آن بر انتخاب α به تحلیل حساسیت پارامتر پرداخته شده است. اگر درصد مشتریان کم مصرف با θ نمایش داده شود، تأثیر تغییر مقدار آن در میزان هزینه‌ها نشان داده می‌شود. بخشی از نتایج حاصل از این تحلیل در جدول(۷) آورده شده است.

جدول (۷): نتایج حاصله از تحلیل حساسیت که به‌عنوان‌مثال آورده شده است.

	پرمصرف	کم مصرف		پرمصرف	کم مصرف		پرمصرف	کم مصرف					
TCn	۰/۲۵	۰/۵	TCn	۰/۲۵	۰/۷۵	TCn	۰/۵	۰/۷۵	θ	cm	cr	λ	β
۴/۹۳۱۷۴۹	۴/۹۳۱۶۱	۴/۹۳۳	۴/۹۳۱۸۹۶	۴/۹۳۱۶۱	۴/۹۳۴۴۷	۴/۹۳۳۱۴۷	۴/۹۳۳	۴/۹۳۴۴۷	۰/۱	۳	۳۰	۰/۱	۲
۴/۹۳۲۰۲۷	۴/۹۳۱۶۱	۴/۹۳۳	۴/۹۳۲۴۶۸	۴/۹۳۱۶۱	۴/۹۳۴۴۷	۴/۹۳۳۴۴۱	۴/۹۳۳	۴/۹۳۴۴۷	۰/۳				
۴/۹۳۲۳۰۵	۴/۹۳۱۶۱	۴/۹۳۳	۴/۹۳۳۰۴	۴/۹۳۱۶۱	۴/۹۳۴۴۷	۴/۹۳۳۷۳۵	۴/۹۳۳	۴/۹۳۴۴۷	۰/۵				
۴/۹۳۲۵۸۳	۴/۹۳۱۶۱	۴/۹۳۳	۴/۹۳۳۶۱۲	۴/۹۳۱۶۱	۴/۹۳۴۴۷	۴/۹۳۴۰۲۹	۴/۹۳۳	۴/۹۳۴۴۷	۰/۷				
۴/۹۳۲۸۶۱	۴/۹۳۱۶۱	۴/۹۳۳	۴/۹۳۴۱۸۴	۴/۹۳۱۶۱	۴/۹۳۴۴۷	۴/۹۳۴۳۲۳	۴/۹۳۳	۴/۹۳۴۴۷	۰/۹				
۵/۹۱۱۳۷۱	۵/۹۱۱۲۱	۵/۹۱۲۸۲	۵/۹۱۱۵۳۵	۵/۹۱۱۲۱	۵/۹۱۴۴۶	۵/۹۱۲۹۸۴	۵/۹۱۲۸۲	۵/۹۱۴۴۶	۰/۱	۵			
۵/۹۱۱۶۹۳	۵/۹۱۱۲۱	۵/۹۱۲۸۲	۵/۹۱۲۱۸۵	۵/۹۱۱۲۱	۵/۹۱۴۴۶	۵/۹۱۳۳۱۲	۵/۹۱۲۸۲	۵/۹۱۴۴۶	۰/۳				
۵/۹۱۲۰۱۵	۵/۹۱۱۲۱	۵/۹۱۲۸۲	۵/۹۱۲۸۳۵	۵/۹۱۱۲۱	۵/۹۱۴۴۶	۵/۹۱۳۶۴	۵/۹۱۲۸۲	۵/۹۱۴۴۶	۰/۵				
۵/۹۱۲۳۳۷	۵/۹۱۱۲۱	۵/۹۱۲۸۲	۵/۹۱۳۴۸۵	۵/۹۱۱۲۱	۵/۹۱۴۴۶	۵/۹۱۳۹۶۸	۵/۹۱۲۸۲	۵/۹۱۴۴۶	۰/۷				
۵/۹۱۲۶۵۹	۵/۹۱۱۲۱	۵/۹۱۲۸۲	۵/۹۱۴۱۳۵	۵/۹۱۱۲۱	۵/۹۱۴۴۶	۵/۹۱۴۲۹۶	۵/۹۱۲۸۲	۵/۹۱۴۴۶	۰/۹				
۶/۷۴۱۷۴۷	۶/۷۴۱۵۷	۶/۷۴۳۳۴	۶/۷۴۱۹۲۲	۶/۷۴۱۵۷	۶/۷۴۵۰۹	۶/۷۴۳۵۱۵	۶/۷۴۳۳۴	۶/۷۴۵۰۹	۰/۱	۷			
۶/۷۴۲۱۰۱	۶/۷۴۱۵۷	۶/۷۴۳۳۴	۶/۷۴۲۶۲۶	۶/۷۴۱۵۷	۶/۷۴۵۰۹	۶/۷۴۳۸۶۵	۶/۷۴۳۳۴	۶/۷۴۵۰۹	۰/۳				
۶/۷۴۲۴۵۵	۶/۷۴۱۵۷	۶/۷۴۳۳۴	۶/۷۴۳۳۳	۶/۷۴۱۵۷	۶/۷۴۵۰۹	۶/۷۴۴۲۱۵	۶/۷۴۳۳۴	۶/۷۴۵۰۹	۰/۵				
۶/۷۴۲۸۰۹	۶/۷۴۱۵۷	۶/۷۴۳۳۴	۶/۷۴۴۰۳۴	۶/۷۴۱۵۷	۶/۷۴۵۰۹	۶/۷۴۴۵۶۵	۶/۷۴۳۳۴	۶/۷۴۵۰۹	۰/۷				
۶/۷۴۳۱۶۳	۶/۷۴۱۵۷	۶/۷۴۳۳۴	۶/۷۴۴۷۳۸	۶/۷۴۱۵۷	۶/۷۴۵۰۹	۶/۷۴۴۹۱۵	۶/۷۴۳۳۴	۶/۷۴۵۰۹	۰/۹				

نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان‌دهنده این بود که با افزایش مقدار θ (درصد مشتریان کم مصرف) هزینه‌های وارانتی افزایش پیدا می‌کند به عبارتی هر چه درصد مشتریان کم مصرف افزایش یابد هزینه‌های محاسبه شده طبق مدل جدید به هزینه‌های به‌دست‌آمده توسط مدل جانگ نزدیک‌تر می‌شود و هزینه‌ها افزایش می‌یابد. می‌توان نتیجه گرفت که در مدل جدید ارائه شده هر چه میزان مشتریان پرمصرف (۱-θ) بیشتر باشد هزینه‌های وارانتی برای تولیدکننده (فروشنده) اقتصادی‌تر است.

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق ابتدا به بررسی روش‌های موجود و سیاست‌های وارانتی پرداخته شده، سپس یک روش برای مشخص کردن وارانتی و سیاست‌های آن مطرح گردیده است. این سیاست مشخص شده هم از

دید مشتریان و هم از دید تولیدکنندگان موردبررسی قرار گرفته و در نهایت یک سیاست بهینه مطرح گشته که باعث کاهش هزینه‌ها هم از دید مشتری و هم از دید فروشنده گردیده است. روش کار به این شکل است که ابتدا اطلاعات تمام مشتریان جمع‌آوری‌شده و مشتریان بر اساس میزان مصرفی که داشته‌اند در دو دسته مختلف (پرمصرف و کم مصرف) قرار داده شده‌اند. هر دسته دارای یک مجموعه سیاست‌هایی خاص برای نگهداری و تعمیرات است که این سیاست‌ها براساس میزان مصرف مشتریان برای هر گروه از قبل مشخص شده است. پس از دسته‌بندی مشتریان برای هر دسته طبق مدل ارائه شده یک سیاست وارانتی مشخص گردیده است که در این سیاست دوره وارانتی اصلی برای هر دسته به دو دوره ویژه (RW) و عادی (MW) تقسیم شده است در بخش اول یعنی دوره ویژه تمام هزینه‌ها بر عهده فروشنده است و در صورت نیاز کالا به‌طور کامل تعویض می‌گردد و از مشتری هیچ‌گونه هزینه‌ای دریافت نمی‌شود. اما در دوره دوم یعنی دوره عادی هزینه‌ها بین فروشنده و مشتری تقسیم شده است. در دوره عادی تنها تعمیر وجود دارد و هیچ‌گونه تعویضی صورت نمی‌گیرد. در این دوره هر دو (مشتری،فروشنده) به‌صورت مشترک عهده‌دار هزینه‌ها می‌باشند. اما مشخص کردن مرز بین این دو دوره کار بسیار دشواری است که درصورتی‌که اشتباه انتخاب گردد باعث افزایش هزینه‌ها می‌شود. انتخاب این مرز امر بسیار مهمی است که مدل ارائه شده این وظیفه را به‌درستی انجام می‌دهد. در واقع در روش جدید، طول دوره‌ی وارانتی ویژه و عادی با توجه به نوع مشتری (کم مصرف یا پرمصرف) متغیر است که این امر منجر به کاهش هزینه‌های وارانتی طی دوره‌ی وارانتی اولیه و به طبع آن کل دوره‌ی وارانتی سه مرحله‌ای گردیده است. پس‌ازاین مرحله به‌منظور پیدا کردن رابطه‌ای بین درصد مشتریان از هر دسته و مقدار هزینه‌ی کل، یک آنالیز حساسیت انجام شد و نتایج حاکی از آن بود که با افزایش درصد مشتریان پرمصرف، به مقدار قابل‌توجهی در هزینه‌ی کل صرفه‌جویی گردید که در انتهای کار به این موضوع پرداخته شد. در نهایت می‌توان گفت که به‌کارگیری این مدل جدید منجر به صرفه‌جویی چشمگیری در هزینه‌ی کل می‌گردد. به‌منظور انجام مطالعات آتی، پیشنهاد می‌گردد که در صورت در دست داشتن اطلاعات علمی، کیس واقعی در نظر گرفته شود و مقادیر حاصل از این پژوهش با مقادیر آن مقایسه شود و تحلیل حساسیت صورت پذیرد. همچنین به‌منظور یافتن ترکیب بهینه‌ای از مقادیر پارامترهای کلیدی، طرح آزمایش دو به توان K مفید واقع می‌گردد.

همچنین می‌توان محاسبات و مقایسات را برای دو حالت دیگر از ترکیب‌های دوتایی α (α=۰/۷۵ برای مشتریان کم مصرف و α= ۰/۵ برای مشتریان پرمصرف، α=۰/۵ برای مشتریان کم مصرف و α= ۰/۲۵ برای مشتریان پرمصرف) انجام داد.

مراجع

[1] Shafiee, M., Yazdekhasti, A., Salmasnia, A., (2012). Optimization of preventive maintenance policies during the warranty period from two manufacturer and buyer's views 8th International Industrial Engineering Conference, Amir Kabir University.

[2] Rahman, A., (2007). Modelling and analysis of reliability and costs for lifetime warranty and service contract policies., Queensland University of Technology.

[3] Murthy, D., Blischke, W.R. (2000). Strategic warranty management: A life-cycle approach. IEEE Transactions on Engineering Management,. 47(1): 40-54.

[4] Padmanabhan, V., Rao, R.C., (1993). Warranty policy and extended service contracts: Theory and an application to automobiles. Marketing Science,. 12(3): 230-247.

[5] Jack, N., Iskandar, B.P., D.P .Murthy, A. .(2009). Repair–replace strategy based on usage rate for items sold with a two-dimensional warranty. Reliability Engineering & System Safety,. 94(2): 611-617.

[6] Yun, W.Y., Murthy, D., Jack, N., (2008).Warranty servicing with imperfect repair. International Journal of Production Economics,. 111(1): 159-169.

[7] Kim, C., Djamaludin, I., Murthy, D., (2004). Warranty and discrete preventive maintenance. Reliability Engineering & System Safety,. 84(3): 301-309.

[8] Ritchken, P.H., Fuh D., (1986). Optimal replacement policies for irreparable warrantied items. IEEE Transactions on Reliability, 35(5): 621-623.

[9] Jahromi, A.E., Vahdani, H., Sajjadi, S.M., (2007). Replacement–repair policy based on simulation model for multistate deteriorating products under warranty 5th International Conference on Industrial Engineering, Sharif University of Technology.

[10] Nasrolahi, M., Asgharzadeh, E., (2017). Estimation of manufacturer and buyer warranty costs based on a new PRW warranty policy - Industrial Management. Faculty of Management, University of Tehran.

[11] Shafiee, M., Chukova, S., (2013). Maintenance models in warranty: A literature review. European Journal of Operational Research,. 229(3): 561-572.

[12] Jung, K.M., Park, M., Park, D.H. (2015). Cost optimization model following extended renewing two-phase warranty. Computers & Industrial Engineering,. 79: 188-194.

[13] Wang, Y., Liu, Z., Liu, Y., (2015). Optimal preventive maintenance strategy for repairable items under two-dimensional warranty. Reliability Engineering & System Safety,. 142: 326-333.

[14] Su, C., Wang, X., (2016). A two-stage preventive maintenance optimization model incorporating two-dimensional extended warranty. Reliability Engineering & System Safety, 2016. 155: 169-178.

[15] Shang, L., Si, S., Cai, Z., (2016). Optimal maintenance–replacement policy of products with competing failures after expiry of the warranty. Computers & Industrial Engineering,. 98: 68-77.

[16] Park, M., Pham, H., (2016). Cost models for age replacement policies and block replacement policies under warranty. Applied Mathematical Modelling,. 40(9–10): 5689-5702.

[17] Lee, H., J.H. Cha, and M. (2017).Finkelstein, On information-based warranty policy for repairable products from heterogeneous population. European Journal of Operational Research,. 253(1): 204-215.

[18] Huang, Y.-S., Huang,C.-D. Ho, J.-W., (2017). A customized two-dimensional extended warranty with preventive maintenance. European Journal of Operational Research,. 257(3): 971-978.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Spring and Summer 2019, Volume 7., No. 14., pp. 79-91
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/ier.2019.16304.1765

Presentation a Model for Reducing Two-stage Expanded Warranty Costs Based on Customer Type Based on Consumption Rate

O. Yousefi[1*], R. Akhlagh[2], F. Rashidian[3]

[1, 2, 3] Department of Industrial Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Isfahan, Iran

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 14 May 2018
Accepted 3 July 2019

***Keywords*:**

Warranty, FRRW period
PRW period
customer consumption rate
customer classification

ABSTRACT

This paper examined a warranty model where after the end of the two-phase warranty period, an extra warranty period is provided to the customer. The two-phase warranty period is split into two sections; the first period is free replacement / repair warranty (FRRW) period and the other is period of Pro-Rata Warranty (PRW). If the product failure occurs during the FRRW period, the damaged product is repaired by the manufacturer free or replaced by a new product. If this failure occurs in PRW period, the manufacturer and the customer are both responsible for paying for the repair costs; and if the failure happens during the extended warranty period, only minimal repairs is made. As customer consumption rate differs in a given period, it is advisable to classify customers based on their rate of consumption before determining the type of warranty policy, which will reduce the cost of warranties. Then, for each type of customer, a maintenance policy are supplied. In addition, the percentage of low consuming customer (high-consumption) will be effective in the overall costs.

[*] Corresponding author. O. Yousefi
Tel.: 09131032786; E-mail address: yousefi_1302@yahoo.com