

توسعه سیاست جدید وارانتي PRW برای برآورد هزینه‌ها

مهدی نصراللهی^۱، عزت الله اصغری زاده^۲، احمد جعفرنژاد^۳، محمد علی صنیعی منفرد^۴

چکیده: در بازار پرقابیت امروز، وارانتي‌ها نقشی اساسی ایفا می‌کنند. اخیراً محصولات بسیاری با وارانتي‌هایی مانند وارانتي تعویض رایگان، وارانتي تسهیم هزینه، و وارانتي ترکیبی به فروش می‌رسند. وارانتي‌های تسهیم هزینه پیچیده‌اند. مدلسازی شکستگی‌ها در دوره وارانتي و هزینه‌های این سیاست نیز پیچیده است، زیرا هزینه‌های اصلاح محصول درحقیقت متغیری تصادفی است که نرخ بهره و تورم نیز در آنها تأثیرگذار است. در این مقاله، مدل جدید سیاست وارانتي PRW با توجه به نرخ تورم و بهره و نیز تعریف تابعی برای متغیر تصادفی نرخ هزینه توسعه داده شده و درنهایت مدل‌های پیش‌بینی نرخ شکست و برآورد هزینه‌های وارانتي محصول در طول دوره طراحی شده است.

واژه‌های کلیدی: تورم، سیاست‌های وارانتي وارانتي، وارانتي تسهیم هزینه (PRW)، هزینه وارانتي.

۱. استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۲. دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴. دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه الزهراء، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۷/۲۷

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۲۱

نویسنده مسئول مقاله: مهدی نصراللهی

E-mail: mahdi.nasrollahi@gmail.com

مقدمه

وارانتی قرارداد توافقی بین خریدار و تولیدکننده است که هنگام فروش منعقد می‌شود و بر اساس آن تولیدکننده متعهد می‌شود در صورت شکسته شدن محصول، با وجود استفاده صحیح از آن، آن را تعویض یا تعمیر کند (عبدالمجید، کسیم، جماهیر، و سماه، ۲۰۱۲). درحقیقت، وارانته‌ها تعیین‌کننده مسئولیت‌های تولیدکننده یا توزیع‌کننده در قبال شکستگی‌های زود هنگام محصول هستند (بلیشک و مورتی، ۱۹۹۴).

البته وارانته محصول یکی از عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری مشتریان برای خرید است. مشتریان در هنگام انتخاب از میان چند محصول که ویژگی‌های مشابه دارند، معمولاً محصولی را برمی‌گزینند که وارانته بهتری دارد (استامنکوویچ، پوپویچ، اسپاسوژویچ، و رادیوژویچ، ۲۰۱۱). در حال حاضر، بیشتر محصولات موجود در بازار به همراه وارانته از طرف تولیدکننده عرضه می‌شوند. طی این مدت، تولیدکننده قطعه خراب را با قطعه سالم جایگزین یا آن را تعمیر می‌کند. از این رو، وارانته در افزایش توان رقابتی محصول، از دو جنبه اهمیت دارد (مورتی و بلیشک، ۲۰۰۰):

۱. پشتیبانی: حمایت از مشتری در قبال محصولات خراب و رسیدگی به شکایات

مشتریان؛ و

۲. پیشرفت و ارتقا: متمایز کردن محصولات دارای وارانته از سایر محصولات.

بنابراین، وارانته می‌تواند ریسک خرید مشتریان و توقعات غیرمنطقی آنها را کاهش دهد. به علاوه، وارانته ابزار بازاریابی مؤثری برای متمایز کردن محصول از محصولات مشابه است و می‌تواند مشتری را به خرید محصول ترغیب کند. البته با افزایش مدت وارانته، هزینه‌های مورد انتظار وارانته برای تولیدکننده افزایش می‌یابد. با وجود این، به دلیل رقابت بسیار پیچیده و زیاد در بازار و همچنین تقاضای مشتریان، رقابت بین تولیدکنندگان برای ارائه وارانته‌های بهتر به منظور جذب مشتریان بیشتر افزایش یافته است.

شکسته شدن محصولات و هزینه‌های خدمات وارانته به قابلیت اطمینان محصول، نحوه استفاده، و نیز شیوه نگهداری از آن بستگی دارد. قابلیت اطمینان یک محصول (سیستم) نیز به عوامل مختلفی وابسته است؛ عواملی نظیر تصمیماتی که در مدت طراحی و تولید گرفته می‌شوند (تحت کنترل تولیدکننده) و محیط به کارگیری و میزان استفاده (تحت کنترل مصرف‌کننده) (مورتی، ۲۰۱۰). محصول ممکن است به دلیل خطای نرم‌افزاری یا سخت‌افزاری، خطای مصرف‌کننده، یا شرایط نگهداری شکسته شود. در صورت شکسته شدن، هزینه‌های متعددی به وجود خواهند آمد که عبارت‌اند از (پوپویچ، استامنکوویچ، و راکیسویچ، ۲۰۱۲):

- هزینه‌های وارانتهی؛
- هزینه‌های اداری و حقوقی؛
- هزینه‌های ناشی از کاهش تولید؛ و
- هزینه‌های ارائه خدمات جایگزین.

تولیدکنندگان می‌توانند رویکردهای معتبری را برای کنترل این هزینه‌ها طی فرایندهای طراحی، توسعه، و تولید به کار گیرند.

به‌طورمعمول، در قرارداد وارانتهی، مشتری هنگام خرید محصول هزینه وارانتهی را پرداخت می‌کند و تولیدکننده نیز متعهد می‌شود که در صورت شکسته شدن محصول، آن را تعمیر یا تعویض کند. بنابراین، تولیدکنندگان هنگام ارائه وارانتهی دو متغیر مهم و اساسی را مد نظر قرار می‌دهند که عبارت‌اند از: هزینه وارانتهی و مدت وارانتهی (چان و تانگ، ۱۹۹۵). پیشنهادهای متفاوت وارانتهی را سیاست وارانتهی نامیده‌اند که بر اساس هزینه وارانتهی و هزینه تعمیر به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند: تعویض رایگان، تسهیم هزینه، و ترکیبی. به‌علاوه، بر اساس دوره زمانی وارانتهی نیز می‌توان دو سیاست دوره ثابت و دوره تجدیدپذیر را متمایز کرد.

در این بررسی، یک مدل وارانتهی تسهیم هزینه برای پیش‌بینی شکستگی‌ها و برآورد هزینه‌های ناشی از آن شرح داده می‌شود. بدین منظور، ابتدا مبانی وارانتهی تسهیم هزینه را مروری کوتاه و سپس با هدف ارائه مدل موردنظر در خصوص نقش تورم و بهره در هزینه‌های وارانتهی بحث می‌کنیم. سپس مدل ریاضی سیاست وارانتهی PRW ارائه و در پایان نیز اعتبار مدل با مثالی عددی ارزیابی می‌شود.

نمادها

نمادهای زیر برای ارائه مدل‌های این بخش به کار می‌روند:

W : دوره وارانتهی؛

t : زمان شکستن محصول؛

$N(W)$: تعداد شکستگی‌ها در دوره وارانتهی؛

f : نرخ افزایشی هزینه‌ها به دلیل تورم یا سایر عوامل؛

d : نرخ بهره؛

I : نرخ نهایی افزایش یا کاهش قیمت‌ها ($I=f-d$)؛

λ : مشخصه معکوس عمر توزیع وایبول؛

β : پارامتر شکل توزیع وایبول؛

$q(x)$: تابع تسهیم هزینه‌ها؛

$A(x)$: تابع نرخ شکستگی؛

$F(.)$: تابع توزیع تجمعی شکستگی محصول؛

$f(.)$: تابع چگالی شکستگی؛

$G(.)$: تابع توزیع تجمعی برای هزینه‌های اصلاح محصول؛

$g(.)$: تابع چگالی احتمال برای هزینه‌های اصلاح محصول؛

c_b : هزینه اصلاح (تعمیر) در هر بار خرابی محصول برای خریدار، چنانچه محصول وارانتهی نداشته باشد. چنانچه تمامی اصلاح‌ها را، به دلایل خاص، تولیدکننده انجام دهد، در اصطلاح، به آن انحصار فنی تولیدکننده می‌گویند. فرض می‌کنیم که انحصار فنی تولیدکننده وجود ندارد؛

c_m : هزینه اصلاح (تعمیر) در هر بار خرابی برای تولیدکننده که هزینه واقعی اصلاح محصولات دارای وارانتهی است؛

C_W : هزینه وارانتهی که تولیدکننده آن را در زمان خرید محصول تعیین و پیشنهاد می‌کند.

وارانتهی تسهیم هزینه

با این سیاست وارانتهی، چنانچه محصولی پیش از اتمام دوره وارانتهی شکسته شود، تولیدکننده باید محصول را با دریافت بخشی از هزینه تعمیر یا تعویض کند. سهم مشتری از هزینه اصلاح تابعی خطی یا غیرخطی از عمر محصول است (بلیشک، ریزال، و مورتی، ۲۰۱۱).

شکل متعارف سیاست PRW به صورت تسهیم خطی هزینه است که در آن چنانچه محصولی در زمان شکستگی عمری معادل $x < W$ داشته باشد، مشتری موظف به پرداخت مبلغ $C_m(x/W)$ است (بلیشک، ۱۹۹۰). مهم‌ترین دلیل کاربرد این سیاست تأثیر مثبت آن در کاهش هزینه‌های وارانتهی است (مورتی و بلیشک، ۲۰۰۵). با این رویکرد، می‌توان سیاست PRW را با تابع تسهیم $q(x)$ با رابطه ۱ بیان کرد که این تابع نشان‌دهنده سهم تولیدکننده در هزینه‌ها به شکل تابعی از زمان انجام خدمت (x) است.

$$q(x) = \begin{cases} (1 - x/W)c_m & 0 \leq x < W \\ 0 & x \geq W \end{cases} \quad \text{رابطه ۱}$$

هزینه مورد انتظار تولیدکننده

هزینه مورد انتظار تولیدکننده به ازای هر واحد محصول فروخته‌شده دارای وارانتهی از میانگین هزینه‌های حاصل از اصلاح محصول به دست می‌آید. روابط ریاضی برای محاسبه این هزینه

توسعه داده شده‌اند (مورتی و بلیشک، ۱۹۹۴). اولین تلاش‌ها برای تجزیه و تحلیل هزینه‌های تولیدکننده در سیاست PRW بر هزینه‌های وارانتهی به ازای هر محصول تعمیرشدنی متمرکز شده بود که در آنها فقط یک شکستگی و یک تعویض مدلسازی می‌شد. هدف این مدل‌ها تعیین منابع مالی مورد نیاز به منظور رسیدگی به ادعاهای وارانتهی بود. از آنجاکه هزینه تولید محصولات برای تولیدکننده در فرایند تولید یکسان و ثابت است، در مدل‌هایی که در ادامه می‌آیند، فقط هزینه‌های وارانتهی در نظر گرفته می‌شود. هزینه واقعی تولیدکننده به ازای هر محصول فروخته شده با سیاست PRW برابر است با:

$$C_m = q(X_1) \quad \text{رابطه ۲}$$

بنابراین، هزینه مورد انتظار تولیدکننده بابت وارانتهی به ازای هر محصول را می‌توان از رابطه ۳ به دست آورد:

$$E[C_m(W; q)] = c_m[F(W) - \mu^W/W] \quad \text{رابطه ۳}$$

به طوری که $\mu^W = \int_0^W x dF(x)$ است. البته پژوهشگران در دوره‌های متفاوت، برای توسعه و بهبود مدل‌های مرتبط با وارانتهی PRW و هزینه‌های تولیدکننده مطالعات زیادی انجام داده‌اند (مورتی و بلیشک، ۱۹۹۲؛ بلیشک و مورتی، ۲۰۰۰).

مهم‌ترین عامل در تعیین هزینه مورد انتظار تولیدکننده در این سیاست، توزیع عمر محصول است و از این رو، ساختار وارانتهی تأثیر اندکی در هزینه‌ها دارد. هر چند مفاد وارانتهی تأثیر بسزایی در درآمدهای تولیدکننده دارند، هزینه‌های پایه برای تعمیر، تعویض، و مانند آن تغییری نمی‌کنند.

هزینه مورد انتظار مشتری

در مطالعات زیادی به هزینه بلندمدت خریدار برای محصولی که وارانتهی PRW دارد، توجه شده است (مورتی و جمال الدین، ۲۰۰۰). هزینه واقعی خریدار به ازای هر محصول خریداری شده طبق PRW برابر است با (بلیشک و مورتی، ۱۹۹۴):

$$C_b(W) = \begin{cases} C_w + c_m \left(\frac{X_1}{W} \right), & 0 \leq x < W \\ C_w + c_b, & x \geq W \end{cases} \quad \text{رابطه ۴}$$

بنابراین، کل هزینه مورد انتظار خریدار به ازای هر محصول مطابق رابطه ۵ خواهد بود:

$$E[C_b(W)] = C_w + c_m \left[\frac{\mu^W}{W} - F(W) \right] \quad \text{رابطه ۵}$$

مدلسازی هزینه‌های وارانتهی PRW در سطح سیستم

در این قسمت، مدل‌های شکسته شدن محصول و نیز مدل‌های هزینه اصلاح شکستگی‌ها در دوره وارانتهی ارائه، تجزیه و تحلیل می‌شوند. هر محصول سیستمی متشکل از چندین جزء در نظر گرفته می‌شود و شکستگی‌ها در سطح سیستم یا زیرسیستم مدلسازی می‌شوند.

فرض می‌کنیم که توزیع تجمعی شکست محصول $(F(x))$ با تابع چگالی $f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$ بوده است و تابع نرخ شکست از معادله زیر برآورد می‌شود (رحمان و چاتوپادهای، ۲۰۱۰):

$$\Lambda(x) = \frac{f(x)}{(1 - F(x))} \quad \text{رابطه ۶}$$

پیش‌فرض‌ها

مفروضات زیر با هدف ساده‌سازی مدل در نظر گرفته شده‌اند. حذف یک یا چند پیش‌فرض زیر امکان‌پذیر است، اما می‌تواند تجزیه و تحلیل مدل را پیچیده کند. تجزیه و تحلیل چنین مدل‌هایی در برخی موارد ناممکن است. پیش‌فرض‌های مورد نظر به شرح زیر هستند:

- شکسته شدن محصولات مستقل از یکدیگر رخ می‌دهند؛
- شکسته شدن محصولات تابعی از عمر آنهاست؛
- زمان مورد نیاز برای انجام عملیات اصلاح در مقایسه با میانگین زمان بین شکست‌ها ناچیز است و نادیده گرفته می‌شود؛
- شکسته شدن محصول به بروز ادعای وارانتهی منجر می‌شود و تمام ادعاها نیز صحیح هستند؛
- تمام محصولات خراب شده با محصولات نو تعویض می‌شوند؛ و
- شکستگی‌ها در مدت وارانتهی در سطح سیستم (محصول) مدلسازی می‌شوند.

مدلسازی هزینه‌های اصلاح

به‌طور کلی، هزینه‌های اصلاح (c) متغیری تصادفی است، زیرا شکسته شدن محصول در نتیجه شکستگی یک یا چند جزء آن رخ می‌دهد و هزینه تعمیر یا تعویض برای اجزای مختلف متفاوت است. $G(c)$ و $g(c)$ ، به ترتیب، تابع توزیع تجمعی و تابع چگالی احتمال برای هزینه‌های اصلاح محصول در مدت وارانتهی را نشان می‌دهند:

$$G(c) = P\{R \leq c\} \quad \text{رابطه ۷}$$

بنابراین، هزینه مورد انتظار هر عملیات اصلاحی، $E(c) = \bar{c}$ از رابطه ۸ به دست می‌آید:

$$E(c) = \bar{c} = \int_0^{\infty} cg(c)dc \quad \text{رابطه ۸}$$

با هدف ساده‌سازی مدل، در اینجا فرض می‌شود که هزینه اصلاح توزیع نمایی با پارامتر γ دارد. این توزیع در اکثر محصولات ساده برقرار است. در توزیع نمایی با پارامتر γ می‌توان $G(c)$ را با رابطه ۹ نشان داد:

$$G(c) = 1 - e^{-\gamma c} \quad \text{رابطه ۹}$$

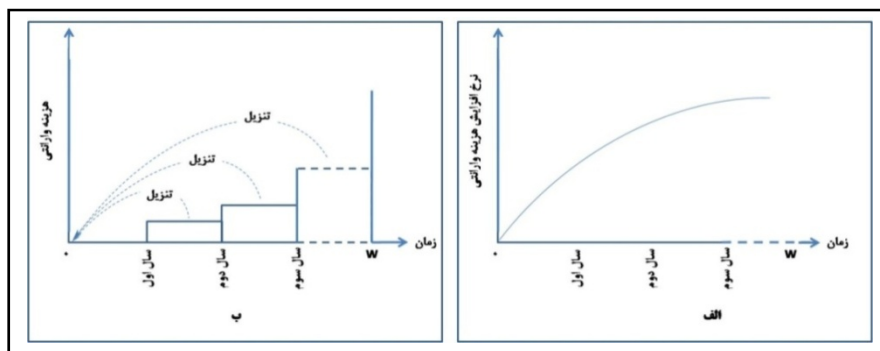
بنابراین، هزینه مورد انتظار هر عملیات اصلاح با پارامتر هزینه γ به صورت زیر خواهد بود:

$$\bar{c} = \frac{1}{\gamma} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

برای دوره‌های وارانتهی طولانی می‌توان روند هزینه و نیز عامل تورم و بهره (ارزش زمانی پول) را نیز در مدل گنجانده.

بررسی اثر نرخ تورم و بهره بر هزینه‌های وارانتهی

برای محصولاتی که دوره عمر و دوره وارانتهی طولانی‌تری دارند (مانند خودروها)، به دلیل نبود اطمینان‌های مرتبط با هزینه‌ها، کل هزینه وارانتهی در دوره‌های زمانی طولانی نامشخص خواهد بود. اگر دوره وارانتهی طولانی باشد (بیشتر از یک سال)، هزینه‌های آتی تحت تأثیر هزینه‌های نیروی کار، تورم، و کاهش ارزش زمانی پول قرار می‌گیرند. این موضوع را می‌توان در شکل ۱ مشاهده کرد:



شکل ۱. الف. تأثیرات نرخ تورم و بهره در هزینه‌های وارانتهی طولانی مدت؛

ب. تأثیرات تنزیل هزینه‌های وارانتهی در دوره‌های طولانی

برای تورم با نرخ f عامل تورم زمانی دنباله‌دار برای دوره زمانی W برابر با e^{fW} خواهد بود. به این ترتیب، چنانچه هزینه یک قطعه در زمان $W = 0$ برابر C باشد، آنگاه در زمان W هزینه‌ای برابر Ce^{fW} خواهد داشت (سارکر، جمال، و وانگ، ۲۰۰۰).

برای نرخ بهره d (که بیانگر ارزش زمانی پول است) عامل ارزش فعلی پول در زمان W برابر با e^{-dW} است. از این‌رو، ارزش فعلی محاسبه‌شده با تورم Ce^{fW} (عامل تورم خالص) با $Ce^{fW}e^{-dW}$ بیان خواهد شد. برای محصولی با قیمت اولیه C (واحد محصول/واحد پول) ارزش فعلی قیمت تورمی در زمان $W = 0$ که با C نشان داده می‌شود برابر است با:

$$C_0 = Ce^{(f-d)W} = Ce^{IW} \quad , \quad I = f - d \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

که در این رابطه، C در طول دوره W تورم داشته و به Ce^{fW} تبدیل شده است و در ضمن e^{-dW} نیز عامل تنزیل بوده است که ارزش آتی محصول را به ارزش فعلی آن تبدیل می‌کند. در نتیجه، I بیانگر ارزش فعلی نرخ تورم است (سارکر و همکاران، ۲۰۰۰؛ گیری و بارهان، ۲۰۱۱؛ پاندی و گوپتا، ۲۰۱۱).

حال اگر تعداد شکستگی‌های احتمالی در سال i و نیز هزینه مورد انتظار هر شکستگی در سال i را نیز به ترتیب با $E(N_i)$ و $E(C_i)$ نشان دهیم، ارزش فعلی کل هزینه مورد انتظار برای وارانتهی را می‌توان با رابطه ۱۲ نشان داد:

$$E(C) = \sum_{i=1}^W E(N_i) E(C_i) e^{li} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

که این هزینه بر اساس سیاست PRW میان تولیدکننده و مشتری تقسیم خواهد شد. از آنجاکه در نظر گرفتن نرخ تورم و تنزیل پیچیدگی‌های مدل را افزایش می‌دهد، در بسیاری از مطالعات به منظور ساده‌سازی مدل، معمولاً نرخ تورم و تنزیل برابر در نظر گرفته و در نتیجه، عامل تورم در مدل فوق به یک تبدیل می‌شود. این فرض برای محصولاتی که دوره عمر و وارانتهی کوتاهی دارند (معمولاً کمتر از یک سال) واقعی است؛ اما محصولاتی که دوره وارانتهی طولانی‌تری دارند تحت تأثیر نرخ تورم و نیز تغییر ارزش زمانی پول قرار می‌گیرند و از این‌رو، رابطه ۱۲ می‌تواند به واقعیت نزدیک‌تر باشد.

مدل P1: سیاست وارانتهی تسهیم هزینه با دوره ثابت

در این سیاست، تولیدکننده متعهد می‌شود که تمام شکستگی‌هایی را که در مدت وارانتهی به دلیل ضعف طراحی یا تولید رخ می‌دهند اصلاح کند.

در اینجا، محصول را سیستمی متشکل از چندین جزء در نظر می‌گیریم. عملیات اصلاح می‌تواند شامل تعمیر یا تعویض یک یا چند جزء باشد. شکستگی‌های محصول بر اساس فرایند نقطه‌ای^۱ با تابع نرخ $\Lambda(x)$ مدل‌سازی می‌شوند که x نشان‌دهنده عمر محصول است. $\Lambda(x)$ تابعی افزایشی از x است که نشان می‌دهد تعداد شکستگی‌ها با افزایش عمر محصول زیاد می‌شود. در نتیجه، $N(W)$ که بیانگر تعداد شکستگی‌ها در طول دوره وارانتهی است، متغیری است تصادفی با:

$$P\{N(x) = n\} = \frac{[\int_0^W \Lambda(x) dx]^n e^{-\int_0^W \Lambda(x) dx}}{n!} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

هزینه کل این سیاست برای ادعاهای وارانتهی در مدت وارانتهی محصول را می‌توان از رابطه ۱۴ به دست آورد:

$$E[C(0, W)] = e^{tW} \bar{c} (1 - \mu^W / W) \left[\int_0^W \Lambda(x) dx \right] \quad \text{رابطه ۱۴}$$

این رابطه را می‌توان با قراردادن مقدار هزینه‌های مورد انتظار اصلاح در هر مورد در رابطه ۱۰ به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$E[C(0, W)] = e^{tW} \frac{1}{\gamma} (1 - \mu^W / W) \left[\int_0^W \Lambda(x) dx \right] \quad \text{رابطه ۱۵}$$

در اینجا، نرخ شکستگی محصول تابعی از عمر آن است. از آنجاکه تعداد قطعاتی که هر بار دچار شکستگی می‌شوند در مقایسه با کل قطعات به کار رفته در محصول ناچیز هستند، تأثیر عملیات اصلاحی در نرخ شکستگی محصول قابل چشم‌پوشی است. به عبارت دیگر، نرخ شکستگی محصول پس از تعمیر تقریباً برابر با نرخ شکستگی آن قبل از تعمیر است. چنین تعمیری را تعمیر حداقلی نامیده‌اند. این نوع شکست را می‌توان با فرایند ناهمگن پواسان (NHPP) مدل‌سازی کرد. در مدل فعلی نرخ شکستگی محصول، $\Lambda(x)$ ، متناسب با توزیع شکستگی آن است. شکل ساده‌ای از $\Lambda(x)$ در رابطه ۱۶ بیان شده است:

$$\Lambda(x) = \lambda \beta (\lambda x)^{\beta-1} \quad \text{رابطه ۱۶}$$

در این رابطه، $\beta > 1$ و $\lambda > 0$ است. $A(x)$ تابعی افزایشی از x است که با توزیع دو پارامتری وایبول مرتبط است. با جایگزین کردن رابطه ۱۶ در رابطه ۱۵ کل هزینه مورد انتظار از رابطه ۱۷ حاصل خواهد شد:

$$E[C(0, W)] = e^{\lambda W} \frac{1}{\gamma} (1 - \mu W / W) \left[\int_0^W \lambda \beta (\lambda x)^{(\beta-1)} dx \right] \quad (\text{رابطه ۱۷})$$

مثال عددی

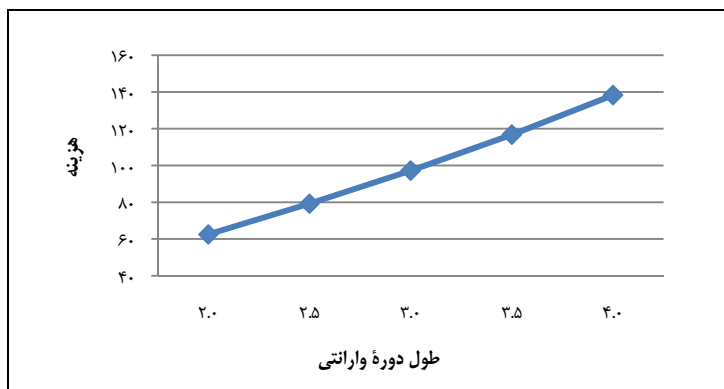
به منظور تجزیه و تحلیل مدل، داده‌های مربوط به ۱۳۳۵ دریل برقی از یک تولیدکننده ابزار و تجهیزات برقی ساختمانی گردآوری شد. بررسی اولیه داده‌ها نشان داد که کمبودهای زیادی وجود دارد. برای مثال، در برخی داده‌ها که بیانگر ادعای وارانتی بودند، قطعه معیوب و هزینه واقعی اصلاح آن مشخص نشده بود. در ضمن، مجموع دریل‌های بررسی شده از مدل‌های متفاوتی تشکیل شده بود. البته ما از این داده‌ها برای مدل‌سازی توزیع شکستگی‌ها بر مبنای مفروضاتی استفاده کردیم که یکی از مفروضات این بود که این ادعاها بر مبنای فرایند ناهمگن پواسان رخ می‌دهند.

پارامترهای شکستگی برآوردی عبارت‌اند از: پارامتر شکل $\beta = 1$ و مشخصه معکوس عمر $\lambda = 0.325$. بنابراین، میانگین زمانی تا اولین شکستگی برابر $\mu = 1$ سال است و هزینه هر تعمیر نیز برابر ۱۰۰ است. هزینه مورد انتظار وارانتی $E[C(W)]$ برای مقادیر متفاوت W در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. هزینه مورد انتظار وارانتی برای تولیدکننده به ازای مقادیر متفاوت W

W	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۴
$E[C(W)]$	۶۲/۴۵۹۵	۷۹/۱۹۷۷	۹۷/۱۸۳۷	۱۱۶/۷۶۴۳	۱۳۸/۲۶۵۸

شکل ۲ که بر اساس جدول ۱ ترسیم شده است، نشان می‌دهد که با توزیع شکستگی، قیمت وارانتی همزمان با افزایش مدت وارانتی افزایش می‌یابد؛ بدین معنی که هرچه مدت وارانتی بیشتر شود تعداد شکستگی‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه، هزینه تولیدکننده بیشتر می‌شود. هزینه‌های وارانتی نسبت به توزیع شکستگی حساس هستند و هرچه نرخ شکستگی بیشتر باشد، هزینه‌های وارانتی نیز بیشتر می‌شود.



شکل ۲. هزینه مورد انتظار وارانتهی

در جدول ۲، پارامترهای شکستگی متفاوتی در نظر گرفته شده است و سایر متغیرها ثابت مانده‌اند. مشخص است که با افزایش مقدار پارامتر شکستگی و مدت وارانتهی $W = 3$ ، هزینه وارانتهی نیز افزایش می‌یابد.

جدول ۲. هزینه مورد انتظار وارانتهی برای تولیدکننده به ازای مقادیر متفاوت نرخ شکستگی

λ	-/۳۱۵	-/۳۵۵	-/۳۹۵	-/۴۳۵	-/۴۷۵
$E[C(W)]$	۱۳۶/۰۹۷	۱۲۵/۵۴۴	۱۱۵/۱۵۰	۱۰۴/۸۶۵	۹۴/۶۲۲



شکل ۳. هزینه مورد انتظار وارانتهی برای تولیدکننده به ازای مقادیر متفاوت نرخ شکستگی

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به سیاست‌های وارانتهی PRW در مقایسه با سیاست‌های FRW توجه کمتری شده است و بنابراین، در مقایسه با سایر سیاست‌های وارانتهی تنوع کمتری دارند. یکی از مهم‌ترین دلایل این امر وجود پیچیدگی‌های بیشتر در این نوع سیاست‌ها در مقایسه با سیاست‌های FRW است که فرایند مدل‌سازی را به مراتب پیچیده‌تر می‌کند.

در این مقاله، سیاست جدید وارانتهی PRW یک‌بعدی با دوره ثابت پیشنهاد شده است که در مقایسه با مدل عمومی موجود چند تغییر و بهبود اساسی دارد. در اکثر مطالعات، هزینه‌های عملیات اصلاح (تعمیر یا تعویض) عدد ثابتی در نظر گرفته می‌شود، درحالی‌که به دلیل نامعین بودن میزان خرابی و تفاوت ارزش قطعات بهتر است این هزینه‌ها نیز به صورت متغیری تصادفی تعریف شوند. بنابراین، در این مطالعه، هزینه‌های اصلاح ب متغیری تصادفی در نظر گرفته شده و توابع مورد نیاز برای تعریف آن به کار رفته‌اند. درضمن، وارد کردن اثر نرخ تورم و بهره موجب واقعی‌تر شدن مدل پیشنهادی شده است. همان‌طور که در جدول‌های ۱ و ۲ مشخص است با افزایش مدت وارانتهی و نرخ شکستگی مورد انتظار میزان هزینه‌های تولیدکننده نیز افزایش می‌یابد.

برای تحقیقات آتی در این حوزه، می‌توان شکستگی‌های محصول را به شیوه‌های گوناگون مدل‌سازی کرد یا اینکه شیوه‌های متفاوت تسهیم هزینه، مانند تسهیم غیرخطی، را در مدل‌سازی به کار برد. مدل‌سازی سیاست‌های وارانتهی دوبعدی یا وارانتهی تجدیدپذیر نیز می‌تواند مدل پیشنهادی را توسعه دهد. درضمن، علاقه‌مندان می‌توانند تأثیر فرایندهای نگهداری پیشگیرانه در نرخ خرابی و هزینه‌های وارانتهی را نیز بررسی کنند. پژوهشگران نیز می‌توانند درباره بهینه‌سازی مدت وارانتهی یا نرخ شکستگی محصول بر اساس مدل پیشنهادی را تحقیق کنند.

منابع

- Abdul Majid, H., Kasim, N.H., Jamahir, N.I. & Samah, A.A. (2012). Soft Computing Methods in Warranty Problems: Review and Recent Applications (2003-2012). *International Journal of Computer Science Issues* 9(4): 190-196.
- Blischke, W.R. & Murthy, D.N.P. (1994). *warranty cost analysis*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Blischke, W.R. & Murthy, D.N.P. (2000). *Reliability modeling, Prediction and Optimization*, John Wiley & Sons, Inc. New York.

- Blischke, W.R. (1990). Mathematical models for analysis of warranty policies, *Mathematical and Computer Modeling*, 13(7): 1-16.
- Blischke, W.R., Rezaul, M.K., & Murthy, D.N.P. (2011). *Warranty data collection and analysis*, Springer Verlag. London.
- Chun, Y.H. & Tang, K. (1995). Determining the optimal warranty price based on the producer's and customers' risk preferences. *European Journal of Operational Research*, 85 (1): 97-110.
- Murthy, D.N.P. & Blischke, W.R. (2000). Strategic warranty management: A life-cycle approach. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 47 (1): 40-54.
- Murthy, D.N.P. & Blischke, W.R. (1992). Product warranty and management III: A review of mathematical models. *European Journal of Operational Research* 63 (1): 1-34.
- Murthy, D.N.P. & Djameludin, I. (2002), New product warranty: A literature review. *International Journal of Production Economics*, 79(3): 231-260.
- Murthy, D.N.P. (2010). New research in reliability, warranty and maintenance. *Proceedings of the 4th Asia-pacific international symposium – Advanced reliability IV: Beyond the traditional reliability and maintainability approaches*. NewZeland. Mc-Graw Hill international Enterprises.
- Murthy, D.N.P. & Blischke, W.R. (2005). *Warranty management and Product manufacture*, Springer Series in reliability engineering, USA.
- Pandey, R.K. & Gupta, S. (2011). Supply Chain Inventory Model with Time Dependent Demand for Decaying Items under Inflation. *International Transactions in Applied Sciences*, 3(1): 122-130.
- Popovic, V., Stamenkovic, D. & Rakicevic, B. (2012). Choosing the Right Warranty Policy – from the Customer's to the Manufacturer's Point of View. *International Journal of Applied Physics and Mathematics* 2(5): 333-335.
- Rahman, A & Chattopadhyay, G. (2010). Modeling risks to manufacturer and buyer for lifetime warranty policies. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 5(3): 203-209.

Sarker, B.R., Jamal, A.M.M. & Wang, S. (2000). Supply chain models for perishable products under inflation and permissible delay in payment, *Computers & Operations Research*, 27 (1): 59-75.

Stamenković, D., Popović, V., Spasojević-Brkić, V. & Radivojević, J. (2011). Combination free replacement and pro-rata warranty policy optimization model. *Journal of Applied Engineering Science*, 9(4): 457-464.