ارائه یک روش بهینه وارانتی برای محصولات با N مرحله کاری $(N \geq 1)$ درحالت دو بعدی

مسعود ربانی[i]؛ ندا معنوی زاده[ii] سید حمید میرمحمدی[iii]

چکیده

در این مقاله به منظور کمینه کردن متوسط هزینه‌های وارانتی یک قطعه، روشی توسعه یافته ارائه می‌شود. در این روش برای تعمیر یا تعویض قطعاتی که با شکست مواجه می‌شوند، تصمیم گیری شده است. عملکرد این قطعات از چندین مرحله تشکیل شده و ممکن است در هر مرحله با شکست مواجه شوند. در حالتی که قطعات دارای سرویس وارانتی یک بعدی (بعد زمان) و غیر قابل تجدید می‌باشند، برای به حداقل رساندن هزینه‌های وارانتی روش‌هایی ارائه شده است. در اینجا نیز همان موضوع برای قطعاتی که سرویس وارانتی دو بعدی (بعد زمان و بعد کارکرد) دارند، مطرح شده است. روش به کار گرفته شده در تصمیم گیری برای تعمیر یا تعویض قطعه به دو پارامتر بستگی دارد. یکی از آن دو میزان افت عملکرد قطعه در لحظه شکست و دیگری مقدار کارکرد باقیمانده از پریود وارانتی می‌باشد. تعیین مقدار بهینه این دو پارامتر برای به حداقل رساندن متوسط هزینه‌های وارانتی، به دو روش تحلیلی و شبیه سازی انجام می‌شود. سپس با استفاده از حل مسائل تصادفی اعتبار هر یک از روش‌ها بررسی می‌گردد.

کلمات کلیدی

وارانتی، شکست، تعمیر، تعویض

A New Two-Dimensional Optional Warranty Policy for Products With N Processing Stages $(N \geq 1)$

M. Rabbani ; N. Manavizadeh; S.H. Mirmohammadi

ABSTRACT

In this paper, a method is developed to minimize the expected warranty servicing cost per item sold. In this method, to be decided to repair or replace a failed item. These kinds of items work in multi-state deteriorating and they may fail in every state. The last decades some researches for minimizing the expected warranty servicing cost under one-dimensional (Time) and nonrenewable warranty policy have been published. But here, the warranty policy has two-dimensions (Time & Usage). The decision to repair or replace a failed item depends on two parameters, the deterioration degree of the item and the length of the residual warranty period. The optimality of these two parameters for minimizing the expected warranty servicing cost are examined by two methods, analytically and simulation. Then an offered algorithm is used as an approximating method for performing the warranty policy.

KEYWORDS:

Warranty, Fail, Repair, Replace

[i] دانشیار دانشکده فنی دانشگاه تهران: صندوق پستی ۴۵۴۳-۱۱۳۶۵ : mrabani@ut.ac.ir

[ii] کارشناس ارشد مهندسی صنایع

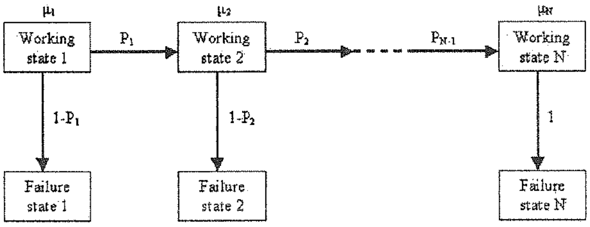
[iii] کارشناس ارشد مهندسی صنایع

۱- مقدمه

وارانتی، قراردادی است به مدت معلوم که بین سازنده و خریدار یک محصول (قطعه) منعقد می‌شود. سازنده برای محصولات فروخته شده‌ای که دچار عیب می‌شوند، تعهد می‌کند تا نسبت به تعمیر یا تعویض آنها اقدام نماید[۱]. وارانتی در قالب سیاست‌های گوناگون تعویض انجام می شود[۲]. یک مسأله مهم در انتخاب و اجرای سیاست وارانتی، مقدار هزینه صرف شده توسط سازنده است. به این ترتیب سازنده برای به حداقل‌رساندن هزینه‌های وارانتی محصول می‌تواند سیاست مناسبی را اتخاذ نماید. تعیین این سیاست به خصوصیات محصول و شرایط مصرف آن بستگی دارد.

نگوین و مورتی (۱۹۸۴) [۳] مدلی برای محاسبه متوسط هزینه وارانتی و واریانس آن ارائه دادند که در آن تابع توزیع زمان طول عمر قطعه مشخص بود و هزینه تعمیر، تابعی از طول عمر قطعه در نظر گرفته شده بود. آنها در مقاله‌ای دیگر (۱۹۸۶)[۴] مدلی را بررسی کرده‌اند که از سیاست تعویض آزاد با پریود ثابت T، استفاده می‌کند. در آن مدل سازنده می توانست در خصوص تعویض قطعه معیوب با یک قطعه نو یا قطعه‌ای که قبلاً تعمیر شده، تصمیم گیری نماید. همچنین آنها در مقاله‌ای دیگر (۱۹۸۹) [۵] مدلی را بررسی کرده‌اند که سیاست تعویض آزاد با پریود زمانی ثابت T و پریود زمانی قابل تجدید W را در نظر می‌گیرد. رائو (۱۹۹۵)[۶] الگوریتمی تحت سیاست تعویض آزاد برای محاسبه هزینه وارانتی ارائه داد. در آن الگوریتم تابع توزیع طول عمر قطعه بصورت فازی بیان شده بود. یون (۱۹۹۵) [۷] تحت یک سیاست ترکیبی، معادله ای برای محاسبه متوسط هزینه وارانتی و واریانس آن ارائه داد. در آن معادله، طول عمر قطعه بر حسب تابع توزیع وایبل بیان شده‌بود. چان و تانگ (۱۹۹۵) [۸] با فرض ثابت بودن نرخ شکست و هزینه تعمیر قطعه، مقدار هزینه وارانتی را برای سیاست تعویض آزاد تخمین زدند.

در تمام این مقالات، وضعیت قطعه تنها در دو حالت کاری و شکست در نظر گرفته شده و در هیچیک افت عملکرد قطعه در طول زمان دیده نشده است. درمن، لیبرمن و راس (۱۹۷۸) [۹] مسأله تعویض بهینه مجموعه‌ای از قطعات را مطالعه کردند که در آن N نوع تعویض با قیمتهای متفاوت وجود داشت. همچنین قطعات دارای توابع توزیع نمایی، با نرخهای شکست متفاوت بودند. زوو، لیو و مورتی (۲۰۰۰) [۱۰] برای آن دسته از قطعاتی که در طول زمان دچار افت عملکرد می‌شدند، مدلی ارائه دادند که دارای N مرحله کاری بود. قطعات در هر یک از مراحل کاری دارای تابع توزیع نمایی بودند. آنها با تخمین متوسط هزینه وارانتی در طول پریود ثابت زمانی T، توانستند برای به حداقل رساندن هزینه وارانتی، سیاست تعمیر ـ تعویض مناسبی ارائه دهند. نحوه عملکرد قطعه طی N مرحله کاری در شکل (۱) نشان داده شده است. در این مقاله، مدل ارائه شده در شکل (۱)، در حالت دو بعدی بررسی می‌گردد. مدت زمان پریود وارانتی (T) و میزان کارکرد پریود وارانتی (U)، دو بعد مدل را تشکیل می‌دهند. هدف تعیین سیاست تعمیر ـ تعویض بهینه، برای کمینه‌کردن هزینه‌های وارانتی می‌باشد.



شکل (۱): نحوه عملکرد قطعه طی N مرحله کاری

۲- نمادها

N : تعداد حالتهای کاری = تعداد حالتهای شکست.

T: مدت زمان پریود وارانتی.

U : میزان کارکرد پریود وارانتی.

k : متغیرتصمیم گیری تعدادحالتهای شکست($1 \le k \le N-1$) .

θ : متغیر تصمیم‌گیری میزان کارکرد پریود وارانتی ($0 \le \theta \le U$).

cr_i : هزینه تعمیر قطعه هنگامی که شکست در مرحله i ام قرار دارد ($i=1,2,\dots,N$).

cm_i : هزینه تعویض قطعه هنگامی که در مرحله i ام قرار دارد ($i=1,2,\dots,N$).

μ_i : نرخ تابع توزیع نمایی کارکرد قطعه در حالت i ام ($i=1,2,\dots,N$).

p_i : احتمال تغییر وضعیت قطعه به حالت کاری i+1، هنگامی که در پایان حالت کاری i ام است($i=1,2,\dots,N$).

p_{i-1} : احتمال تغییر وضعیت قطعه به حالت شکست i، هنگامی که در پایان حالت کاری i ام است($i=1,2,\dots,N$).

y_t : میزان استفاده مشتری از قطعه در مدت زمان t.

Z : پریود وارانتی قطعه بر حسب کارکرد قطعه: $Z=\min\{U,y_t\}$

u : کارکرد باقیمانده از پریود وارانتی، در هنگام شکست قطعه (**میزان کارکرد قطعه تا لحظه شکست آن**)- $u=Z$).

CW : متوسط هزینه سرویس وارانتی برای هر قطعه.

CW_1 : متوسط هزینه سرویس وارانتی، اگر $y_T > U$.

CW_2 : متوسط هزینه سرویس وارانتی، اگر $y_T < \theta$.

CW_3 : متوسط هزینه سرویس وارانتی، اگر $\theta < y_T < U$.

۳- فرضیات

فرض ۳-۱ نشان می‌دهد که با افزایش افت عملکرد قطعه، میل قطعه برای شکست بیشتر می‌شود.

$$(1-p_1)\,\mu_1 < (1-p_2)\,\mu_2 < \ldots < (1-p_{N-1})\,\mu_{N-1} < \mu_N \qquad (۱)$$

فرضهای ۲ و ۳ نشان می‌دهند که با افزایش افت عملکرد قطعه، هزینه‌های تعویض و تعمیر آن افزایش می‌یابند.

$$cm_1 \le cm_2 \le \ldots \le cm_n \qquad (۲)$$

$$cr_1 < cr_2 < \ldots < cr_N \qquad (۳)$$

٤- سیاست وارانتی تعویض آزاد چند مرحله ای، در حالت دوبعدی و غیر قابل تجدید

این سیاست وارانتی برای قطعه ی که با شکست مواجه شده است، در صورت تحقق دو شرط زیر قابل اجرا خواهد بود.

الف) مقدار استفاده‌ای که از قطعه شده است، کمتر از U باشد.

ب) مدت زمانی که از ابتدای وارانتی سپری شده است، کمتر از T باشد.

در صورتیکه حداقل یکی از دو شرط (الف) یا (ب) برقرار نباشد، به معنی پایان پریود وارانتی خواهدبود؛ درغیر اینصورت، سازنده باید قطعه را تعمیر یا تعویض کند. سیاست تعمیر ـ تعویض برای به حداقل رساندن هزینه‌های وارانتی، به شکل زیر تعریف می‌شود:

- اگر قطعه در حالت شکست iام باشد، آنگاه در صورتی تعویض خواهد شد که $N \le i \le k+1$ و $u \le \theta$ باشد؛ در غیر اینصورت تعمیر خواهد شد.

به این ترتیب مسأله، تعیین مقدار بهینه k و θ برای به حداقل رساندن CW است.

۵- حل مسأله در حالت N = 2

چنانچه عملکرد قطعه در دو حالت کاری و دو حالت شکست باشد، طبق سیاست ارائه شده در بخش ۴ ، k برابر یک می‌باشد. پس کافی‌است تنها مقدار θ بهینه محاسبه شود. با توجه به تعریف تابع توزیع y_t ، مقادیر CW متفاوت خواهند بود.

۵-۱- y_t دارای تابع توزیع نمایی با پارامتر λ/T باشد

$$f(y_T) = \lambda/T\, e^{(-\lambda/T)} \qquad (۴)$$

$$P(y_T > U) = e^{(-\lambda/T)U} \qquad (۵)$$

$$P(y_T < \theta) = 1 - e^{(-\lambda/T)\theta} \qquad (۶)$$

$$P(\theta < y_T < U) = e^{(-\lambda/T)\theta} - e^{(-\lambda/T)U} \qquad (۷)$$

$$F(y_T \mid y_T < \theta) = (1- e^{(-\lambda/T)yt}\ )\ /(1- e^{(-\lambda/T)\theta}) \qquad (۸)$$

آنگاه:

$$f(y_T \mid y_T < \theta) = (\lambda/T\, e^{(-\lambda/T)yt})/(1- e^{(-\lambda/T)\theta}) \qquad (۹)$$

$$F(y_T \mid \theta < y_T < U) = (1- e^{(-\lambda/T)yt})/(\,e^{(-\lambda/T)\theta} - e^{(-\lambda/T)U}) \qquad (۱۰)$$

آنگاه:

$$f(y_T \mid \theta < y_T < U) = (\lambda/T\, e(-\lambda/T)y_t)/(\,e(-\lambda/T)\theta - e(-\lambda/T)U) \qquad (۱۱)$$

با استفاده از مرجع [۱۰]، روابط (۱۲)، (۱۳) و (١٤) به دست می‌آیند.

$$\begin{aligned}CW_1 =& [cr_1(1-p_1)\mu_1[\mu_2(U-\theta)+(p_1\mu_1(1-e^{(-(\mu_2+p_1\mu_1)(U-\theta))})\\ &/(\mu_2+p_1\mu_1)+(1-e^{-p_1\mu_1\theta})(\mu_2+p_1\mu_1 e^{(-(\mu_2+p_1\mu_1)(U-\theta))})\\ &/p_1\mu_1]/(\mu_2+p_1\mu_1)+cr_2\mu_2[(\mu_2+p_1\mu_1)\theta-(1-e^{-p_1\mu_1\theta})\\ &(\mu_2+p_1\mu_1/p_1\mu_1]/(\mu_2+p_1\mu_1)+cm_2 p_1\mu_1\mu_2(U-\theta-\\ &(1-e^{(-(\mu_2+p_1\mu_1)(U-\theta))})/(\mu_2+p_1\mu_1))/\\ &(\mu_2+p_1\mu_1)]\end{aligned} \qquad (۱۲)$$

طبق (۹):

$$\begin{aligned}CW_2 =& \int_{y_T=\theta}^{\theta}[(\lambda/T\cdot e^{(-\lambda/T)y_T})/(1-e^{(-\lambda/T)\theta})][cr_2\mu_2 y_T +\\ &[cr_1(1-p_1)-cr_2\mu_2/\mu_1](1-e^{-p_1\mu_1 y_T})/p_1]\cdot dy_T\end{aligned} \qquad (۱۳)$$

طبق (۱۱):

$$\begin{aligned}CW_3 =& \int_{y_T=\theta}^{U}[(\lambda/T\cdot e^{(-\lambda/T)y_T})/(e^{(-\lambda/T)\theta}-e^{(-\lambda/T)U})]\\ &\cdot[cr_1(1-p_1)\mu_1[\mu_2(y_T-\theta)+(p_1\mu_1(1-e^{(-(\mu_2+p_1\mu_1)(y_T-\theta))})\\ &/(\mu_2+p_1\mu_1)+(1-e^{-p_1\mu_1\theta})(\mu_2+p_1\mu_1 e^{(-(\mu_2+p_1\mu_1)(y_T-\theta))})\\ &/p_1\mu_1]/(\mu_2+p_1\mu_1)+cr_2\mu_2[(\mu_2+p_1\mu_1)\theta-(1-e^{-p_1\mu_1\theta})\\ &(\mu_2+p_1\mu_1 e^{(-(\mu_2+p_1\mu_1)(y_T-\theta))})/p_1\mu_1]/(\mu_2+p_1\mu_1)+\\ &cm_2 p_1\mu_1\mu_2(y_T-\theta-(1-e^{(-(\mu_2+p_1\mu_1)(y_T-\theta))})\\ &/(\mu_2+p_1\mu_1))/(\mu_2+p_1\mu_1)]\cdot dy_T\end{aligned} \qquad (۱۴)$$

طبق روابط (۵)، (۶)، (۷)، (۱۲)، (۱۳) و (۱۴)، CW به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$CW = e^{(-\lambda T)U}\, CW1 + (1- e^{(-\lambda T)\theta})\, CW2 + (e^{(-\lambda T)\theta} - e^{(-\lambda T)U})\, CW3 \qquad (۱۵)$$

حال برای کمینه سازی CW، مشتق آن نسبت به θ مساوی صفر قرار می‌گیرد. از تساوی $dCW/d\theta = 0$، دو حالت زیر پدید می‌آید:

حالت ۱: اگر $cm_2 \ge cr_2 + [cr_2\mu_2 - cr_1\mu_1(1-p_1)](1-e^{-p_1\mu_1 U})/p_1\mu_1$ باشد، آنگاه به ازای تمام مقادیر θ، $U \le \theta$، $dCW/d\theta \ge 0$ است و CW در فاصله [0 ، U] نزولی است. در این حالت θ بهینه برای کمینه سازی CW، باید برابر U باشد($\theta^* = U$).

حالت ۲: اگر $cm_2 < cr_2 + [cr_2\mu_2 - cr_1\mu_1(1-p_1)](1-e^{-p_1\mu_1 U})/p_1\mu_1$ باشد، آنگاه به ازای $\theta = \theta^*$، $dCW/d\theta < 0$ می شود. بطوری‌-که:

$$\theta^* = \ln[(cr2\mu2-cr1\mu1+cr1\mu1p1)/(cr2\mu2-cr1\mu1+cr1\mu1p1+cr2p1\mu1-cm2p1\mu1)] / p1\mu1$$

اگر $\theta < \theta^*$ باشد، $dCW / d\theta < 0$ و اگر $\theta > \theta^*$ باشد، بطور قطع $dCW/d\theta > 0$ است. درنتیجه θ بهینه می‌شود. بطور خلاصه چنین می‌توان گفت، که هرگاه :

$$cm_2 < cr_2 + [cr_2\mu_2 - cr_1\mu_1(1-p_1)](1-e^{-p_1\mu_1 U})/p_1\mu_1$$

باشد و در هنگام شکست قطعه، k=1 و مقدار باقیمانده از پریود وارانتی بیش از θ^* (حالت ۲) باشد، آنگاه قطعه تعویض می‌شود. در غیر این صورت، قطعه تعمیر می‌شود.

۵-۲- اگر y_t دارای تابع توزیع یکنواخت با پارامترهای a,b باشد

$$f(y_T) = 1/(bT - aT) \qquad aT < y_T < bT \qquad (۱۶)$$

$$P(y_T > U) = (bT-U)/(bT-aT) \qquad (۱۷)$$

$$P(y_T < \theta) = (\theta-aT)/(bT-aT) \qquad (۱۸)$$

$$P(\theta < y_T < U) = (U-aT)/(bT-aT) \qquad (۱۹)$$

$$F(y_T \mid y_T < \theta) = (y_T-aT)/(\theta-aT) \qquad (۲۰)$$

آنگاه:

$$f(y_T \mid y_T < \theta) = 1/(\theta-aT) \qquad (۲۱)$$

$$F(y_T \mid \theta < y_T < U) = (y_T-aT)/(U-\theta) \qquad (۲۲)$$

آنگاه:

$$f(y_T \mid \theta < y_T < U) = 1/(U-\theta) \qquad (۲۳)$$

پس از محاسبه CW به همان روش ارائه شده در بخش ۵-۱، مقدار θ^* همانند بخش ۵-۱ به دست می‌آید.

۵-۳- بررسی نتایج

با بررسی نتایج بخشهای ۵-۱ و ۵-۲، هرگاه در هنگام شکست قطعه $k = 1$ و $u \le \theta^*$ باشد، سازنده قطعه را تعویض می کند. در غیر اینصورت آنرا تعمیر می‌کند. از آنجا که در هنگام شکست قطعه، مقدار y_t مشخص نیست، پریود وارانتی قطعه بر حسب کارکرد (Z) مشخص نمی‌باشد. به این ترتیب نمی‌توان مقدار u را تعیین کرد.

اگر u´ به عنوان مقدار باقیمانده از پریود وارانتی U تعریف شود ((مقدار کارکرد قطعه تا لحظه شکست)- u´ = U)، آنگاه u´همواره قابل محاسبه‌بوده و به صورت زیر تعریف می شود:

(۲۴)

$$u' = \begin{cases} u & y_T \Rightarrow U \\ U - y_T & y_T < U \end{cases}$$

با توجه به رابطه (۲۴)، β به شکل زیر تعریف می‌شود:

(۲۵)

$$\beta = \begin{cases} \theta & y_T \Rightarrow U \\ \theta + U - y_T & y_T < U \end{cases}$$

۵-۳-۱- اگر yt دارای تابع توزیع نمایی باشد.

$$E[\beta] = \beta\, e^{(-\lambda T)U} + (\beta+U-E[y_T \mid y_T < U])(1-e^{(-\lambda T)}) \qquad (۲۶)$$

طبق (۹):

$$E[yT \mid yT < U] = (\lambda U+T-Te^{(\lambda T)U}) / (\lambda-\lambda e^{(\lambda T)U}) \qquad (۲۷)$$

طبق روابط (۲۶) و (۲۷):

$$E[\beta^*] = \theta^* + U-T(1- e^{(-\lambda T)U)}/\lambda) \qquad (۲۸)$$

۵-۳-۲- اگر yt دارای تابع توزیع یکنواخت باشد

$$E[\beta] = \beta\,((bT-U)/(bT-aT)) + (\beta+U-E[y_T \mid y_T < U])((U-aT)/(bT-aT)) \qquad (۲۹)$$

طبق رابطه (۲۱):

$$E[yT \mid yT < U] = [(U^2-a^2T^2) / (U-aT)]/2 \qquad (۳۰)$$

طبق روابط (۲۶) و (۲۷):

$$E[\beta^*] = \theta^* + (U-aT)^2 / [2(bT-aT)] \qquad (۳۱)$$

با توجه به روابط (۲۸) و (۳۱)، سیاست تعمیر _ تعویض به صورت زیر اجرا می‌شود:

در زمان شکست قطعه و در حالی که هنوز پریود وارانتی به پایان نرسیده است، اگر k=1 و $u' > E[\beta^*]$ باشند، آنگاه قطعه تعویض شده ودر غیر اینصورت قطعه تعمیر می‌شود.

۶- ارائه مدل شبیه‌سازی و تعیین اعتبار مدل تحلیلی

برای تعیین اعتبار مدل تحلیلی ارائه شده در بخش‌های قبلی

باید آن را با یک روش حل دیگر مسأله مقایسه کرد. از آنجا که در بین روش‌های مختلف، روش شبیه سازی و نرم افزار های مربوط به آن از کارایی قابل توجهی برخوردارند، این روش برگزیده‌شده‌است. برای این منظور از نرم‌افزارVisual Slam استفاده شد. محاسبات بروی کامپیوتر Pentium IV2.8 GHz CPU و 512MB RAM انجام شده است.

۶-۱- الگوریتم شبیه سازی

در این الگوریتم به ازای مقدار مشخصی از k ، مسأله یک بار شبیه‌سازی می‌شود. به ازای هر بار شبیه سازی مقادیر مختلف β به مدل داده می‌شود و مقدار CW محاسبه می‌شود. از آنجا که β کمیتی پیوسته در بازه [0,U] می‌باشد، این بازه به h (عدد صحیح و مثبت) بخش مساوی تقسیم و β به صورت $\beta=(j-1)\frac{U}{h}, j=1,2,\ldots,h$ محاسبه می‌شود. هر چه مقدار h بزرگتر باشد، دقت شبیه سازی بیشتر خواهد بود. ساختار مدل شبیه‌سازی بکاررفته در شکل (۲) ارائه شده است.

۶-۲- مقایسه روش ها

به منظور مقایسه دو روش تحلیلی و روش شبیه سازی ۱۰ مسأله در حالت دو مرحله ای (N=2) ، از توزیع‌های مختلف عمر قطعه (y_t) به صورت تصادفی تولید کرده و با دو روش شبیه سازی و روش تحلیلی حل می‌کنیم. مقادیر پارامترهای مختلف مسائل، به جز N ، به صورت تصادفی، توسط نرم افزار تهیه شده، از بازه های جدول (۱) به صورت یکنواخت ایجاد شده است. هر یک از مسائلی که به طریق فوق ایجاد می‌شود به ازاء ٦ توزیع مختلف از عمر قطعه، که در جدول (۲) آمده است، حل می‌شود. مقدار میانگین ۱۰ مسأله تصادفی ایجاد شده، در جدول (۲) خلاصه شده است.

لذا نتایج حاصل از حل ٦٠ مسأله به دو روش شبیه‌سازی و تحلیلی در جدول (۲) خلاصه شده‌است. بر اساس اطلاعات جدول (۲) می‌توان نتیجه گرفت که روش تحلیلی در حالت N=2 به طور کلی نسبت به روش شبیه سازی از کارایی بهتری برخوردار می‌باشد و می‌تواند جواب‌های بهتری بدست دهد. همچنین تفاوت ناچیز بین جواب‌های حاصل از دو روش نشان می‌دهد که در ابعاد بزرگ مسأله ، (N>>2) که حل مسأله به روش تحلیلی پیچیده و مشکل می‌شود، می‌توان از روش شبیه‌سازی به عنوان تقریب بسیار مناسبی از حل بهینه استفاده نمود.

۷- حل مسأله در حالت $N\geq 3$

در حالت کلی که $N\geq 3$ می‌باشد، k می‌تواند بیش از یک مقدار داشته باشد. در این حالت برای تعیین k و β بهینه روش تحلیلی وجود ندارد. همانطور که در بخش قبلی مشخص شد، روش شبیه سازی تقریب خوبی از مقدار بهینه، در ابعاد بزرگ مسئله می باشد و می‌توان با استفاده از این روش (شکل ۲) به ازای تمام ترکیبات حاصل ازk و β ، مقدار CW را محاسبه نمود. سپس با توجه به حداقل مقدار CW ، مقادیر k و β بهینه تعیین می‌شوند.

استفاده از روش شبیه سازی این امکان را می دهد تا بتوان بعضی از فرضیات در نظر گرفته شده برای مسأله را حذف نمود. به عنوان مثال می توان هر نوع تابع توزیع دلخواهی جهت مقدار کارکرد قطعه در حالت i ام و مصرف مشتری در طول زمان، در نظر گرفت. با همین روش می‌توان با تغییر مدل شبیه سازی، کارایی الگوریتم فوق را برای سایر توابع توزیع y_t، به دست آورد.

۸- نتیجه گیری

در این مقاله برای قطعاتی که دارای N مرحله کاری و N مرحله شکست بودند، یک سیاست وارانتی ارائه شد. در این سیاست بمنظور به حداقل رساندن هزینه‌های وارانتی، روشی برای تصمیم‌گیری در خصوص تعویض یا تعمیر قطعه در هنگام شکست تعیین شد. روش بکارگرفته‌شده، توسعه‌ای از روش زوو، لیو و مورتی(۲۰۰۰)[۱۰] بود، با این تفاوت که سیاست وارانتی را در حالت دو بعدی بررسی می‌کرد. در این روش در حالت N=2، متغیرهای تصمیم گیری مسأله (k^* , β^*) با استفاده از روش تحلیلی مشخص شدند. همچنین مشخص شد که در این حالت روش تحلیلی با تفاوت اندکی نسبت به روش تحلیلی ترجیح دارد و روش شبیه‌سازی می‌تواند در ابعاد بزرگ مسئله، تقریب بسیار خوبی از مقدار بهینه جواب‌ها باشد.

با این حال مدل ارائه شده در این مقاله قابل توسعه خواهد بود. در زیر به بخشهایی که هنوز می‌توان مطالعات بیشتری در مورد آنها انجام داد، اشاره شده‌است.

۱- تعیین β^* در حالت N=2 برای سایر توابع توزیع y_t

۲- تغییر افت عملکرد قطعه از حالت گسسته به حالت پیوسته و ارائه راه حل تحلیلی و تغییر مدل شبیه سازی برای حالت پیوسته.

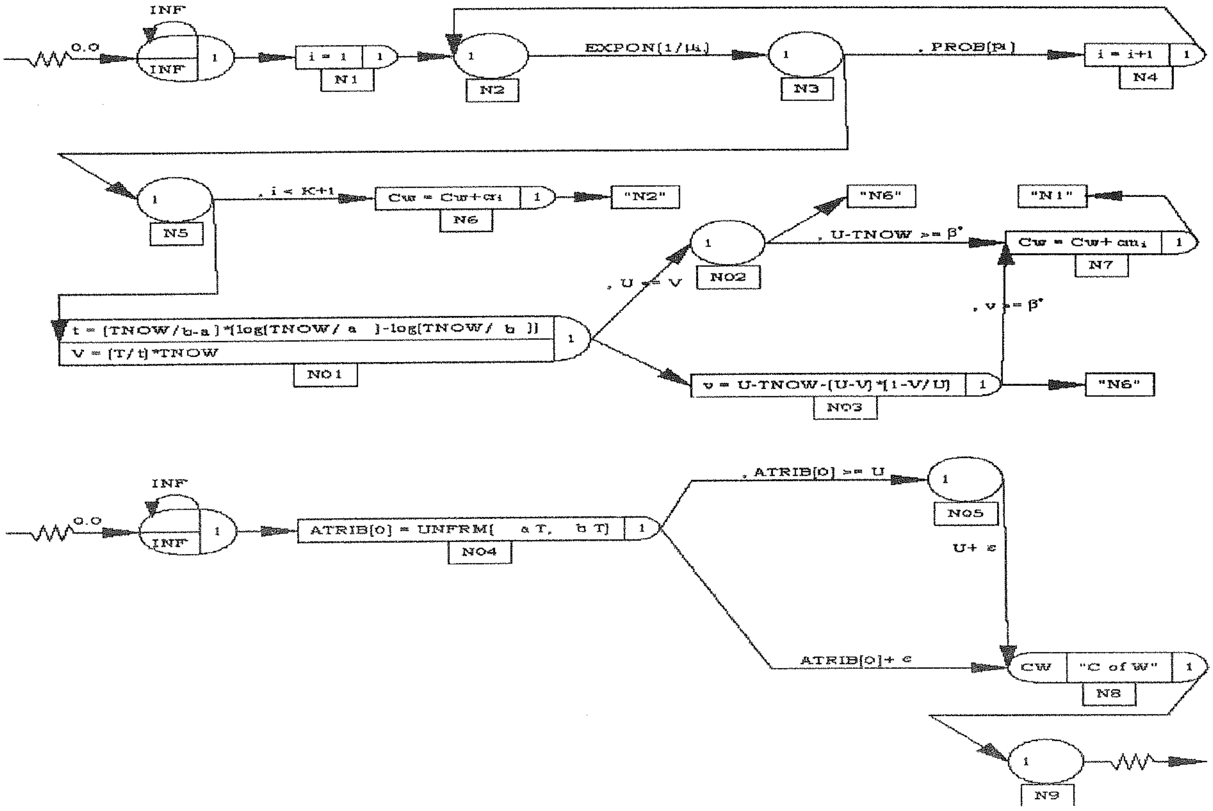
۳- تغییر مدل شبیه‌سازی برای حالت‌هایی که قطعه پس از کار در حالت j ام به حالت i ام برود، بطوریکه: $i=j+1,j+2,\ldots,N$

۴- استفاده از سایر سیاست‌های سرویس وارنتی برای قطعاتی که در طول زمان دارای افت عملکرد

بصورت گسسته یا پیوسته دارند.

۵- حذف فرض مستقل بودن هزینه‌های تعمیر و تعویض، نسبت به مدت زمان عمر قطعه.

۶- ارائه الگوریتم‌های اجرایی با کارائی بیشتر در اجرای سیاست وارانتی ارائه شده.



شکل (۲):ساختار مدل شبیه سازی

جدول (۱): بازه های تغییر پارامترهای مسائل

پارامتر مربوطه	p_1	μ_1	μ_2	cr_1	cr_2	cm_1	cm_2	T
بازه تغییر	$[0,1]$	$[0,1]$	$[0,3]$	$[20,100]$	$[cr_1, 2cr_1]$	$[100,300]$	$[cm_1, 2cm_1]$	$[1,5]$

جدول (۲): نتایج مقایسه‌ای مسائل حل شده با روش‌های شبیه‌سازی و تحلیلی

yt	روش تحلیلی		روش شبیه سازی	
	$E(\beta^*)$	$E(CW^*)$	$E(\beta^*)$	$E(CW^*)$
$Uniform[0.5T, 2T]$	۱٫۴۵	۱۵۲٫۴۴	۱٫۵۲	۱۵۵
$Uniform[0.5T, 3T]$	۱٫۹۵	۲۰۵٫۶۵	۱٫۹۶	۲۱۳
$Uniform[2T, 3T]$	۰٫۷	۲۸۵٫۴۷	۰٫۷	۲۸۵
$Exp[0.5T, 2T]$	۲٫۲۱	۴۵٫۹۵	۲٫۱	۵۱
$Exp[0.5T, 2T]$	۱٫۴۴	۱۶۳٫۹۸	۱٫۸۵	۱۸۱
$Exp[0.5T, 2T]$	۰٫۸۹	۲۵۴٫۱۵	۰٫۹۳	۲۵۹

۹- مراجع

[۱] Murthy, D.N.P., Blischke, W.R., "Warranty management I: A taxonomy for warranty policies", European Journal of Operational Research. Vol. 62 pp 127-148, 1992.

[۲] Murthy, D.N.P., Blischke, W.R., "Warranty management III: A review of mathematical models", European Journal of Operational Research. Vol. 62 pp 1-34 1992.

[۳] Neguyen, D.G., Murthy, D.N.P., "A general model for estimating warranty costs for repairable item", IIE Trans. Vol. 16, pp 379-386, 1984.

[۴] Neguyen, D.G., Murthy, D.N.P., "An optimal policy for servicing warranty", Journal of Operational Research Society. Vol. 11, pp 1081 1088, 1986.

[۵] Neguyen, D.G., Murthy, D.N.P., "Optimal replace-repair strategy for servicing items sold under warranty", European Journal of Operational Research. Vol. 39 pp 206-212, 1989.

[۶] Rao, B.M., "Algorithms for the free replacement warranty with phase-type lifetime distributions", IIE .Trans. Vol. 27 pp 348-357, 1995

[۷] Bohoris, G.A., Yun, W., "Warranty costs for repairable products under hybrid warranty", IMA Journal of Mathematics Applied in Business and Industry. Vol. 6, pp. 13-24 1995

[۸] Chun, Y.H., Tang, K., "Determining the optimal warranty price based on the producer's and customer's risk preferences", European Journal of Operational Research. Vol. 85, pp 97 110, 1995

[۹] Derman, C., Lieberman, G.J., Ross, S.M., "A renewal decision problem", Management Science. Vol. 24 pp 554-561, 1978

[۱۰] Zuo, M.J., Lio, B., Murthy, D.N.P., "Replacement-repair policy for multi-state deteriorating products under warranty", European Journal of Operational Research. Vol. 123, pp 519-530, 2000.

[۱۱] Chun, Y.H., "Determining the optimal warranty policy for deteriorating products". Production research .Vol. 77 pp. 123-139,2005.