



## Design and Development of the Pattern to Assign and Estimate the Reliability of Complicated Systems by Bayesian Network Method, Case Study: A High Technology Camera

Y. Movahedi, M. Dolatkhah, M. Karbasian\* & V. Rasty

*Yazdan Movahedi, MSc Industrial Engineering Student, Isfahan University of Technology, yazdan.m20@gmail.com*

*Mahdi Dolatkhah, MSc Industrial Engineering Student, University of Tehran, Mahdi.dolatkhah@gmail.com*

*Mahdi Karbasian, Associated professor, Department of Industrial Engineering, Maleke Ashtar University of Technology, mkarbasi@mut-es.ac.ir*

*Vahid Rasty, Master of Industrial Engineering, Isfahan Optics Industries, vahidrasty@gmail.com*

### Keywords

Assignment,  
Reliability,  
Bayesian network,  
N2 matrix,  
FFBD,  
FTA

### ABSTRACT

Camera is one of the most important types of modern communicational devices which failing on its operation may cause difficulties to achieve its goals. In order to protect camera lens from damages, especially in difficult missions at space, a type of cap called shutter can be put on the lens. Diagnosing all probable failures in such sensitive devices before testing can have a dramatic impact on modification of these systems. On the other hand, calculating of reliability in these systems due to lack of essential data in some cases subjected to some difficulties. Bayesian Network method is a powerful way in calculation of reliability for the mixed systems which can resolve the lack of data. In this paper firstly Functional Flow Block Diagram and the N2 matrix is drawn due to importance of sub-systems which are used in the shutter. Then the reliabilities of the components are computed through the methodology of Feasibility of Objects. In the next step, on the basis of shutter FTA; Bayesian Network is drawn. Finally the reliability of the shutter is calculated.

© 2014 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 24, No. 4, All Rights Reserved

\*  
Corresponding author. Mahdi Karbasian  
Email: mkarbasi@mut-es.ac.ir



# طراحی و توسعه الگویی جهت تخصیص و تخمین قابلیت اطمینان سیستم‌های پیچیده به روش شبکه های بیزین (مطالعه موردی: شاتر یک دوربین (High-Tech.))

یزدان موحدی، مهدی دولتخواه، مهدی کرباسیان\* و وحید راستی

چکیده:

کلمات کلیدی

دوربین از مهم ترین اجزای تجهیزات نوین ارتباطی می باشد که عدم کارکرد آن باعث از دست رفتن درصد زیادی از اهداف این گونه تجهیزات می شود. به منظور جلوگیری از صدمات وارده به لنزها مخصوصا در مأموریت‌هایی که در محیط های دشوار مانند فضا صورت می گیرد، یک درپوش بنام شاتر بر روی لنز نصب می گردد. شناسایی انواع خرابی های احتمالی در این گونه دستگاه های بسیار حساس و محاسبه قابلیت اطمینان آنها با توجه به ساختار پیچیده اینگونه سیستم ها قبل از عملیات، نقش موثری در بهبود طراحی این سیستم ها ایفا می کند. از سوی دیگر محاسبه قابلیت اطمینان این چنین سیستم هایی بدلیل کمبود بعضی از داده های ضروری با دشواری روبرو می باشد. روش شبکه های بیزین روشی بسیار قدرتمند در محاسبه قابلیت اطمینان سیستم های پیچیده است که مشکل کمبود داده را نیز از بین می برد. در این مقاله ابتدا با ترسیم بلوک دیاگرام کارکردی جریان (FFBD) و ماتریس N2، اجزای کارکردی مهم شاتر دوربین شناسایی شده و سپس با استفاده از روش تخصیص FOO و زنجیره مارکوف، قابلیت اطمینان تک تک اجزاء و زیر سیستم ها محاسبه گردیده اند. در مرحله بعد بر اساس درخت خرابی (FTA) شاتر، شبکه بیزین آن رسم شده و در نهایت قابلیت اطمینان شاتر بدست آمده است.

تخصیص،  
قابلیت اطمینان،  
شبکه بیزین،  
ماتریس N2،  
FFBD،  
درخت خرابی.

سازد. این ضرورت بخصوص در صنایع تولید کننده ای که ارزش حقیقی محصول تولید شده شان حجم عظیمی از دارایی های بالقوه آنها را تشکیل می دهد نظیر شرکت های هواپیما سازی، بیشتر مشهود می باشد. محصولات مهندسی مدرن از تک تک قطعات تا سامانه های بزرگ باید بگونه ای طراحی و تولید شوند که در طول مدت زمان مأموریت خود از قابلیت اطمینان لازم برخوردار باشند. درهر صنعت هنگامی که سیستمی از کار می افتد یا دچار اختلال می شود، از جنبه های مختلفی نظیر جنبه های اقتصادی، انسانی، سیاسی و ... مخاطره آمیز و زیان بار می باشد [۱].

قابلیت اطمینان، یکی از مهم ترین مشخصه های کیفی قطعات، محصولات و سیستم های پیچیده و بزرگ علی الخصوص سازه های ماهواره بر و فضایی می باشد که نقش حیاتی در عملکرد

## ۱. مقدمه

روند توسعه و گسترش صنایع پیشرفته با انبوهی از حجم تولیدات صنعتی در عصر حاضر، نیاز هرچه بیشتر به اجرای روش های پیشگویانه در مقابله با وقوع خرابی های احتمالی را آشکار می

تاریخ وصول: ۹۰/۶/۹

تاریخ تصویب: ۹۰/۱۲/۱

یزدان موحدی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان، yazdan.m20@gmail.com

مهدی دولتخواه، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، Mahdi.dolatkhah@gmail.com

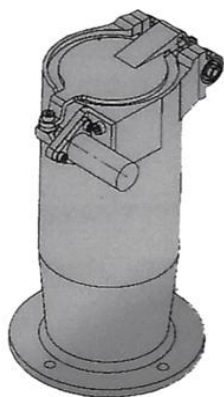
\*نویسنده مسئول مقاله: دکتر مهدی کرباسیان، دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، mkarbasi@mut-es.ac.ir

وحید راستی، کارشناس ارشد مهندسی صنایع، صنایع الکترواپتیک اصفهان، vahidrasty@gmail.com

دو موقعیت "عدم عملکرد شاتر" و "عملکرد دیر هنگام شاتر" ترسیم شده و با استفاده از آن شبکه بیزین برای کل سیستم شاتر رسم می گردد. لازم به ذکر برای تخصیص قابلیت اطمینان به عناصر اولیه یا گره های والد طبقه اول شبکه بیزین از مشاوره مهندسی مکانیک و الکترونیک استفاده شده است. محاسبه قابلیت اطمینان سیستم هایی نظیر سیستم مورد بررسی بدلیل عدم کفایت داده ها در بسیاری از موارد کاری بسیار دشوار و بعضاً نشدنی می باشد.

روش شبکه های بیزین با برطرف کردن این مشکل ما را قادر به محاسبه قابلیت اطمینان اینگونه سیستم های پیچیده می سازد. نرم افزار های موجود در بازار نظیر Netica، BayesiaLab و MSBNX محاسبات سنگین ناشی از احتمالات شرطی مورد استفاده در این روش را تسهیل می کند. نرم افزار MSBNX یک نرم افزار کاربردی محصول شرکت ماکروسافت می باشد که قابلیت ایجاد، دستکاری و ارزیابی مدل های احتمالی بیزین را داراست. در این نرم افزار هر مدل به شکل یک دیاگرام یا گراف نمایش داده می شود. در نهایت قابلیت اطمینان سیستم با استفاده از این نرم افزار محاسبه شده است [۲].

۲-۱. شناسایی اجزاء حساس و تعاملات بخش های مخصوص شاتر به عنوان یکی از اجزای کلیدی دوربین می باشد که وظیفه حفظ دوربین را در مقابل اشعه قوی خورشیدی در خارج از جو و همچنین حفاظت از برخورد ذرات خارجی هنگام پرتاب را دارد. شکل ۱ نمایی از آن را نشان می دهد.



شکل ۱. نمایی از شاتر دوربین High-Tech

در شاتر از طریق سویچ هایی فرمان باز شدن به پین پولر (اکچویتر) داده می شود و پین پولر با عقب کشیدن اهرم

اینگونه تجهیزات ایفا میکند. دوربین، از اجزای حساس ماهواره های تصویر برداری می باشد که عدم کارکرد مناسب آن باعث از دست رفتن درصد زیادی از اهداف اصلی ارسال و دریافت داده ها می شود. به منظور جلوگیری از وارد آمدن صدمات مختلفی چون تابش مستقیم نور خورشید به CCD های دوربین و سوختن آن و یا وارد شدن ذرات به داخل برل و آسیب زدن به لنزها، یک درپوش بنام شاتر (Shutter) بر روی برل (Burl) نصب می شود. باز نشدن درپوش در زمان مناسب می تواند صدمات جبران ناپذیری به دوربین وارد آورد. در این مقاله عملکرد شاتر یک دوربین با تکنولوژی بالا که جهت نصب بر روی ماهواره و تصویر برداری از سطح زمین استفاده می شود، مورد بررسی قرار گرفته است.

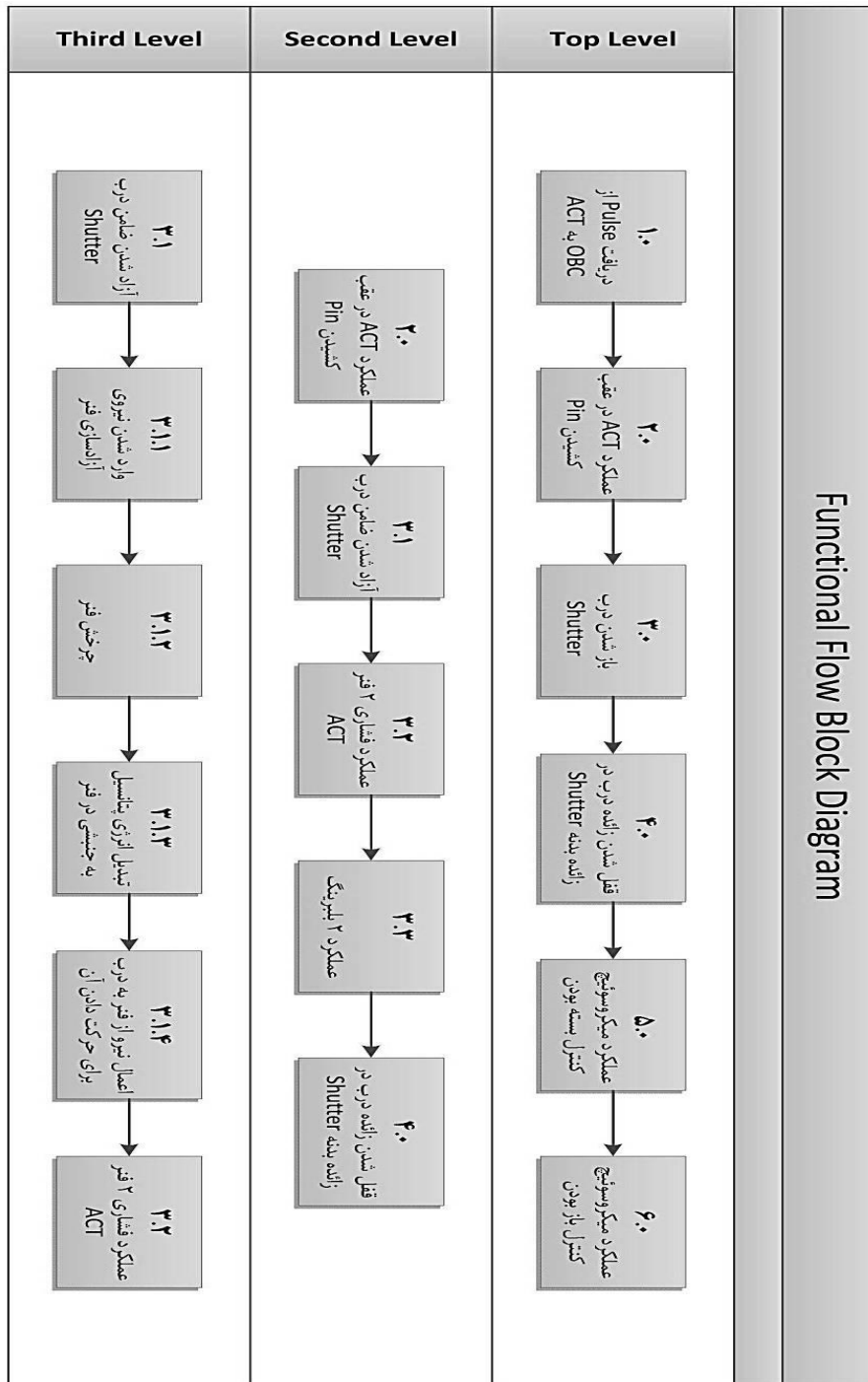
بطور کلی بدلیل وجود اجزاء و زیر سیستم های بسیار زیاد در اینگونه سازه های حساس، محاسبه قابلیت اطمینان تک تک اجزاء و بدست آوردن یک مدل برای ارتباط آنها و در نتیجه محاسبه قابلیت اطمینان کل سیستم با توجه به آنها کاری بسیار زمان بر و از لحاظ محاسباتی پیچیده است. لذا پیدا کردن روشی برای کاهش تقریبی تعداد این اجزا جهت سهولت محاسبات امری ضروری تلقی می شود. بنابراین ابتدا با استفاده از ابزارهایی نظیر بلوک دیاگرام جریان عملکردی (Functional Flow Block Diagram) و ماتریس  $N_2$  (N2 Matrix) بایستی اجزای کارکردی مهم شاتر را شناسایی نمود [۲].

بلوک دیاگرام جریان عملکردی (FFBD) یک روش برای نشان دادن ترتیب وقوع رفتار اجزای زیر سیستم ها در امتداد یکدیگر بصورت مرحله ای و گام به گام می باشد و عمده در چند سطح ترسیم می گردد. این ابزار در دهه ۱۹۵۰ توسعه یافت و بصورت گسترده برای مهندسی سیستم ها بکار برده شد [۵]. ماتریس  $N_2$  نیز که همچنین از آن به عنوان های چارت و دیاگرام  $N_2$  نام برده می شود، یک دیاگرام به شکل ماتریس می باشد که رابطه های فیزیکی و عملکردی مابین عناصر سیستم را نشان می دهد. این روش بطور گسترده ای در ارتقاء روابط داده ای در طراحی نرم افزار ها استفاده می شود. اگرچه هم اکنون به عنوان ابزاری ارزشمند در ارتقاء روابط بین اجزای سیستم های سخت افزاری نیز مورد استفاده قرار می گیرد [۶].

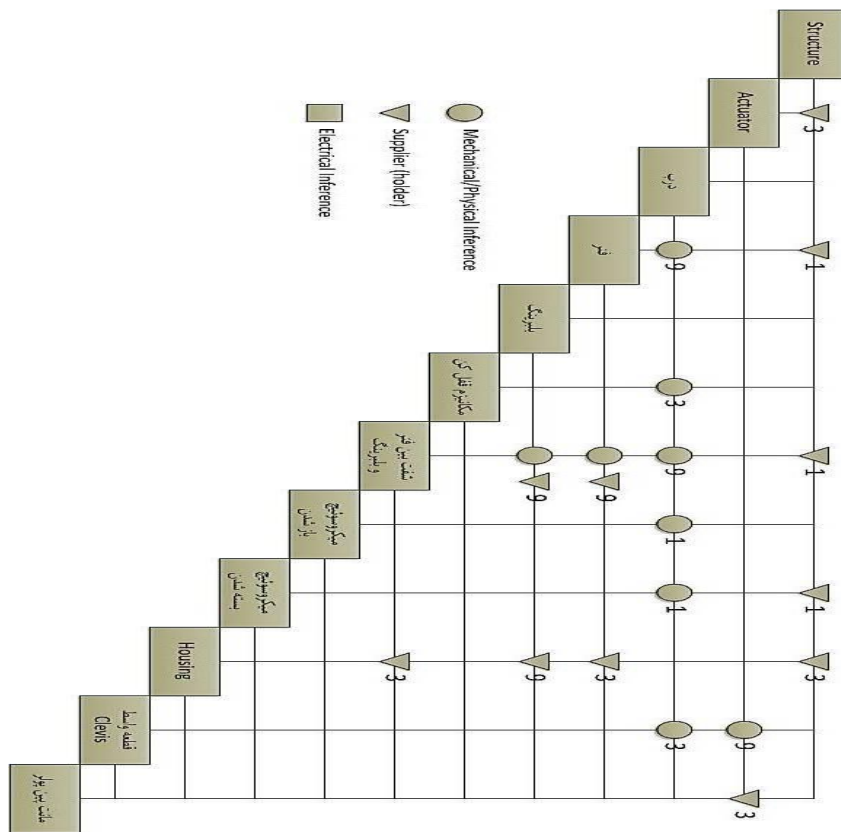
پس از شناسایی اجزای مهم شاتر با استفاده از روش های ذکر شده و ترسیم دیاگرام های مورد نیاز، بایستی مقدار قابلیت اطمینان هر جزء مشخص شود. در این مقاله برای تخصیص قابلیت اطمینان به اجزاء با در نظر گرفتن توزیع عمر قطعات بصورت نمایی؛ از روش FOO (Feasibility Of Objects) استفاده شده است. شرح کامل این روش در ادامه مقاله ذکر شده است. در ادامه درخت خرابی (Fault Tree Analyze) شاتر برای

می توان مراحل کار این شاتر را در جزئیات مختلف مشاهده کنید. شکل ۲. با داشتن نقشه سطح بالای فرایند کاری می توان اجزایی که با هم در تعامل هستند را تشخیص داد. در این حالت نمودار N2 برای تشخیص کامل انواع تعاملات مانند مکانیکی، الکترونیکی و یا نگهدارنده ای مورد استفاده قرار می گیرد. شکل ۳ انواع تعاملات همراه با درجه اهمیت هر کدام را نمایش می دهد [۲].

مربوطه باعث آزاد شدن مکانیزم قفل کن شده و درپوش با استفاده از نیروی کشش فنرها باز می شود و در آخر توسط مکانیزم قفل کن امکان برگشتن آن غیرممکن می شود. اکنون برای بررسی نحوه عملکرد این سیستم از ابزاری که یک نقشه سطح بالا از فرایند می دهد یا همان نمودار عملکردی و جریان محصول FFBD استفاده می کنیم. بنابراین در اولین گام برای محصول شاتر این نمودار رسم گردید.



شکل ۲. نمودار FFBD برای مراحل کار یک شاتر

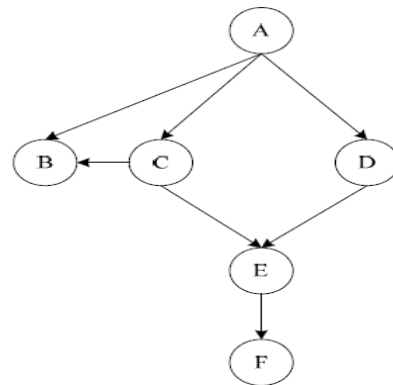


شکل ۳. نمودار N2 برای شاتر

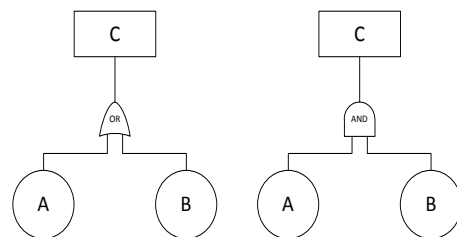
۲-۲. روش Feasibility-Of-Objects در تخصیص قابلیت

اطمینان

تخصیص قابلیت اطمینان فرایندی است که بوسیله آن خرابی مجاز برای یک سیستم تخصیص می یابد و در چند روش منطقی میان زیر سیستم ها و عناصر آن بکار برده می شود. هدف تخصیص قابلیت اطمینان، ایجاد یک قابلیت اطمینان هدف برای هر واحد طوری است که اطمینان حاصل از دستیابی به مقدار قابلیت اطمینان کل سیستم بدست آید. در پروژه های فضایی قبل از طراحی اجزاء، باید بر اساس ارتباط اجزای آن، نوع ارتباط و اهمیت هر بخش، وزن هایی را برای تخصیص قابلیت اطمینان در نظر گرفت. این وزن ها در نهایت قابلیت اطمینان تخصیصی به سامانه فضایی مورد نظر را نمایش می دهد. ما در این پروژه از روش FOO استفاده کردیم. علت این امر این بود که چون کلیه مراحل با مشارکت مهندسين مکانیک و الکترونیک انجام می شد، این روش برای آنها از سادگی و درک بیشتری برخوردار بود. از طرف دیگر با توجه به محدود بودن اجزای شاتر می توانستیم از بعضی از ضعف های این روش در مقابل ساده و قابل درک بودن برای همه طراحان چشم پوشی کنیم. این امر باعث درک مشترکی از مبحث مهندسی قابلیت اطمینان بین همه مهندسين



شکل ۴. شبکه بیزین فرضی



شکل ۵. درخت خرابی مربوط به گره های A,B,C با

دریچه های And و OR

در نهایت با معلوم بودن قابلیت اطمینان درخواستی از سوی کارفرما برای شاتر ( $R_S$ ) و طول عمر آن، نرخ خرابی اختصاص داده شده به هر زیر سامانه ( $\bar{\lambda}_S$ ) در جدول ۱ مطابق با روابط ۴ و ۵ تعیین می گردد.

$$R_S(t) = e^{-\lambda_S T} \quad (4)$$

$$\bar{\lambda}_k = C'_k \lambda_S, \quad \forall k \quad (5)$$

### ۳-۲. استفاده از روش شبکه های بیزین در محاسبه قابلیت اطمینان

شبکه های بیزین که به شبکه های اعتقادی نیز معروف می باشند، جزئی از خانواده مدل های گرافیکی<sup>۱</sup> احتمالی هستند. این ساختارهای گرافیکی در شرایط عدم قطعیت و مباحث مربوط به آن کاربرد دارند. به طور خاص هر گره در شبکه بیان کننده یک متغیر (تصمیم) می باشد و هر بردار (کمان) ارتباط شرطی یا وابستگی متقابل بین متغیرهای شبکه را نشان می دهد.

این وابستگی ها معمولاً با توجه به روشهای آماری و محاسباتی بدست می آیند. شبکه های بیزین دراصل مشابه دسته ای از مدل های گرافیکی که به نام گرافهای جهت دار بدون دور<sup>۲</sup> مشهورند، می باشد. این دسته از گرافها در آمار، یادگیری ماشین و هوش مصنوعی کاربرد فراوانی دارند. این دسته از شبکه ها توانایی بالقوه ای در ارائه محاسبات مربوط به توزیع های احتمال توأم<sup>۳</sup> بر روی مجموعه ای از متغیرهای تصادفی دارند. همانطور که بیان شد شبکه بیز یک گراف جهت دار بدون دور است که گره ها در آن نمایش دهنده مدارک یا فرضیه ها (متغیر ها) هستند و یال ها بیانگر وابستگی ها می باشند به طوری که وجود یک یال بین دو گره به منزله وابستگی بین دو گره می باشد [۲]. در هر شبکه بیزین هر گره یکسری احتمالات دارد که به آن نسبت داده می شود.

این احتمالات بر اساس مقادیر گره هایی محاسبه می شود که گره مذکور بدان ها وابسته است. از این شبکه های محاسبه احتمال یک رخداد (پایین ترین گره) که متاثر از چندین متغیر دیگر است استفاده می شود. برای محاسبه احتمال هر گره والد ابتدا احتمالات گره های ریشه با استفاده از توابع توزیع خاص، مشاهدات یا نظرات خبره استخراج می شوند سپس با بهره مندی از قانون احتمالی بیز، احتمال گره والد بدست می آید. برای مثال

می شد و این خود باعث بهبود طراحی ها در مرحله بعدی می شد [۲].

این روش یکی از روشهای تخصیص قابلیت اطمینان می باشد که بر مبنای ضرایب پیچیدگی، سطح فناوری بکار رفته، زمان عملکرد و شرایط محیطی استوار است. در واقع از حاصلضرب این ضرایب مطابق رابطه (۱) پارامتری بنام نرخ نهایی ( $w'_k$ ) برای هر زیر سیستم بدست می آید که با نرمالیزه کردن آنها به کمک روابط (۲) و (۳) ضریب پیچیدگی یا همان سهم درگیری زیر سیستم ها ( $C'_k$ ) حاصل می شود [۳]. (S) حالت تکنولوژی جدید، (P) زمان اجرا، (E) محیط، (I) پیچیدگی؛ هر کدام از نرخ ها مبتنی بر مقیاس ۱ تا ۱۰ و بوسیله ی طراحی مهندسی و توافق های تخصصی تخمین زده می شود. مقادیر مربوط به چهار نرخ و سپس برای ضرب آن نتیجه می شود ( $ISPE = I * S * P * E$ ).

بنابراین در محصول نهایی نتیجه می دهد مقداری بین ۱ تا ۱۰۰۰۰ است. که ممکن است برای تعیین آن با روش رای گیری، گروه مهندسی تصمیم گیری کنند؛ مانند روش دلفی؛ برای فاکتور I کمترین پیچیدگی سیستم می تواند ۱ و بیشترین آن ۱۰ باشد، برای فاکتور S کمترین توسعه یا روش طراحی با مقدار ۱۰ و بیشترین توسعه با مقدار ۱، برای فاکتور P عامل اپراتور برای کل زمان ماموریت (عمل) با مقدار ۱۰ و عامل اپراتور در کمترین طول زمان عمل با مقدار ۱ و برای فاکتور محیطی E عوامل مورد انتظار جهت آزمون های خشن و محیط های خیلی سخت در طول عملیتهای با مقدار ۱۰ و انتظار آنها جهت روبرویی با کمترین سختی محیطی با مقدار ۱ عدد گذاری می شود. مقادیر زیرسیستم ها نرمالیزه شده و جمع آنها برابر ۱ می شود [۲]. بطور کلی برای یک سیستم متشکل از N زیرسیستم:  $\lambda_S$  نرخ شکست سیستم و (T) طول عمر و  $\bar{\lambda}_k$  نرخ شکست تخصیص برای k امین زیر سیستم، ( $C'_k$ ) پیچیدگی k امین زیر سیستم و ( $w'_k$ ) نرخ وزن برای k امین زیر سیستم است، ( $w'$ ) مشخصه مجموعه نرخ محصولات، و ( $r'_{ik}$ ) مربوط به ضریب k امین زیر سیستم نسبت به چهار پارامتر اصلی است که برای هر i شامل  $\forall i \in \{I, S, P, E\}$ ، تخصیص وزن قابلیت اطمینان فاکتور ها بوسیله تساویهای ۱، ۲ و ۳ محاسبه می شود [۳]:

$$w'_k = r'_{ik} * r'_{sk} * r'_{pk} * r'_{ek} \quad \forall k \quad (1)$$

$$w' = \sum_{k=1}^N w'_k \quad (2)$$

$$C'_k = \frac{w'_k}{w'} \quad \forall k \quad (3)$$

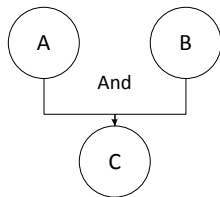
<sup>1</sup>- Graphical Models (GMs)

<sup>2</sup>- Directed Acyclic Graph (DAG)

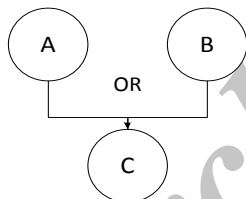
<sup>3</sup>- Joint Probability Distribution (JPD)

اگر بخواهیم احتمال رخداد C در شرایط A و B در شکل ۷ را محاسبه نماییم، ابتدا باید احتمالات شرطی  $\tau$  را با توجه به داده های تجربی بدست آمده از تابع توزیع یکنواخت بین صفر و یک و با استفاده از روش زنجیره مارکوف مونت کارلو تخمین زده و سپس طبق رابطه ۱۰ احتمال رخداد C را محاسبه نمود [۳].

$$\begin{aligned} P_1 &= P(A = 1) \\ P_2 &= P(B = 1) \\ \tau_1 &= P\{C = 1 | A = 1, B = 1\} \\ \tau_2 &= P\{C = 1 | A = 1, B = 0\} \\ \tau_3 &= P\{C = 1 | A = 0, B = 1\} \\ \tau_4 &= P\{C = 1 | A = 0, B = 0\} \\ P(C = 1) &= \tau_1 P_1 P_2 + \tau_2 P_1 (1 - P_2) + \tau_3 P_2 (1 - P_2) + \tau_4 (1 - P_1) (1 - P_2) \end{aligned} \quad (10)$$



شکل ۶. شبکه بیزین با درخت خطا با گره And



شکل ۷. شبکه بیزین با درخت خطا با گره OR

۴-۲. تجزیه و تحلیل اطلاعات با استفاده از نرم افزار

#### MSBNX

در ابتدا باید درخت های خرابی شکل های ۹ و ۱۰ را به شبکه بیزین تبدیل کنیم. به منظور ساده سازی به هر گره یک کد داده شده است که این کدها مطابق جدول ۲ می باشند. پس از ترسیم گراف بیزین (شکل ۱۱) به کمک نرم افزار و منطبق با درخت خرابی شاتر، گام بعدی مشخص کردن حالات مختلف هر گره می باشد. چون این شبکه در مورد مسئله احتمال رخداد خرابی یا عدم رخداد آن می باشد، بنابراین دو حالت بیشتر وجود نخواهد داشت. حالت صفر: خراب بودن و حالت یک: خراب نبودن. در گام بعدی قابلیت اطمینان ر گره به آن اختصاص می یابد. برای مثال جدول اختصاص احتمال برای گره G8 مطابق شکل ۱۲ است. در

برای شبکه نشان داده شده در شکل ۴ احتمال رخداد F از رابطه ۶ بدست می آید [۴].

$$P(A, B, C, D, E, F) = P(F|E).P(E|C, D).P(D|A).P(C|A).P(B|C, A).P(A) \quad (6)$$

#### ۳-۳-۱. تبدیل درخت خرابی به شبکه بیزین

اکثر سیستم های مهندسی که بحث خرابی در آنها مطرح می باشد، توسط روشهای تحلیل علل خرابی و طبقه بندی آنها، قابل تبدیل به درخت خرابی هستند. حال به منظور تخمین قابلیت اطمینان سیستم مذکور می توان درخت خرابی بدست آمده را به شبکه بیزین تبدیل نمود. در درخت های خرابی دو نوع گره داریم: گره And و گره OR.

در تبدیل درخت خرابی به شبکه بیزین شکل نهایی این دو گره باهم تفاوتی ندارد ولی در مرحله محاسبات شرطی، بر نتایج محاسبات گره ها اثرگذار است. شکل های زیر دو نوع ساده درخت خرابی را نشان می دهند. شبکه بیزین مربوط به شکل ۵ با گره And و روابط شرطی مرتبط با آن (رابطه ۷) در ادامه آمده است:

$$\begin{aligned} P\{C = 1 | A = 0, B = 0\} &= 0 \\ P\{C = 1 | A = 0, B = 1\} &= 0 \\ P\{C = 1 | A = 1, B = 0\} &= 0 \\ P\{C = 1 | A = 1, B = 1\} &= 1 \end{aligned} \quad (7)$$

و در نهایت احتمال رخ دادن C از فرمول ۸ بدست می آید:

$$\begin{aligned} P(C = 1) &= P(C = 1 | A = 0, B = 0).P(A = 0, B = 0) + \\ &P(C = 1 | A = 0, B = 1).P(A = 0, B = 1) + \\ &P(C = 1 | A = 1, B = 0).P(A = 1, B = 0) + \\ &P(C = 1 | A = 1, B = 1).P(A = 1, B = 1) \end{aligned} \quad (8)$$

در ادامه شبکه بیزین مربوط به شکل ۵ با گره OR مطابق شکل ۷ است:

$$\begin{aligned} P\{C = 1 | A = 0, B = 0\} &= 0 \\ P\{C = 1 | A = 0, B = 1\} &= 1 \\ P\{C = 1 | A = 1, B = 0\} &= 1 \\ P\{C = 1 | A = 1, B = 1\} &= 1 \end{aligned} \quad (9)$$

احتمال رخ دادن C در این حالت هم مشابه رابطه ۸ برای محاسبه احتمال رخ دادن C خواهد بود [۱].

اینکه با ابزار FMEA, FTA روی کدام مکانیزم ها تمرکز کرده و آنها را بهبود دهیم.

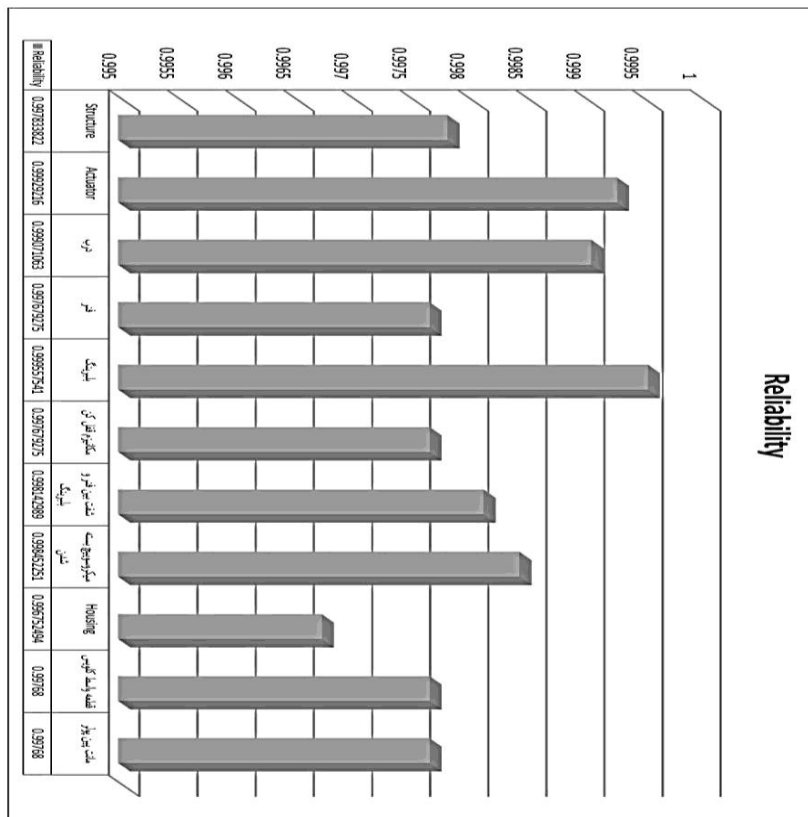
در صورت تصمیم گیری برای بهبود قابلیت اطمینان نیاز به استفاده از قطعات با قابلیت اطمینان بالاتر الزامی است اما آنچه مشخص است اهمیت داشتن میزان هزینه های اعمال شده جهت تقویت سیستم است. پس بایستی با استفاده از نمودار مقایسه ای و برآورد میزان هزینه های لازم و همچنین محاسبه قابلیت اطمینان سیستم بطور پیشگویانه قطعات مورد نظر برای تعویض که می توانند قابلیت اطمینان سیستم را به مقدار خواسته شده ارتقا دهند، شناسایی شده و نسبت به ارتقاء آنها اقدام شود. وضعیت نهایی حاصل بایستی همواره سیستم را از نظر توازن هزینه و کارایی در نقطه بهینه قرار دهند.

با پیچیده تر شدن یک سیستم، چه از لحاظ افزایش تعداد قطعات و یا ترکیب سیستم های متعدد مکانیکی و الکترونیکی، و همچنین بررسی میزان هزینه های ساخت و طراحی به نحوی که قابلیت اطمینان مورد نظر تأمین گردد، باید از رویکردهای الگوریتم های فرا ابتکاری نظیر الگوریتم ژنتیک و یا الگوریتم های هیبریدی بهره جست.

نهایت قابلیت اطمینان بدست آمده برای شاتر توسط نرم افزار همانطور که در شکل ۱۳ نمایش داده شده است برابر  $0/3468$  می باشد.

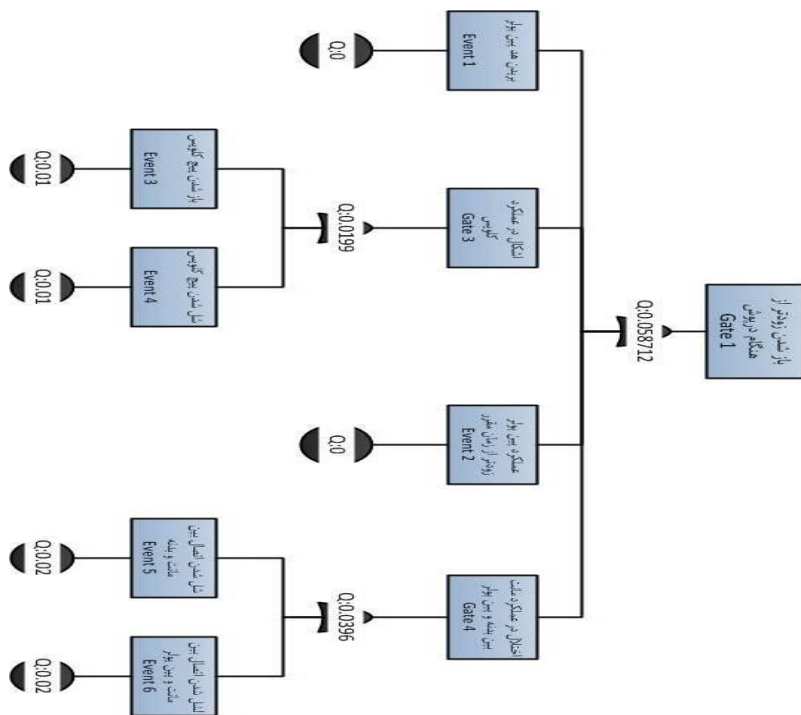
### ۳. نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به مقدار محاسبه شده قابلیت اطمینان شاتر بدیهی است که می بایست در جهت بهبود این مقدار گام برداشته شود. لازم به ذکر است که تعدد سیستم های سری در ساختار شاتر همانطور که در درخت خرابی مرتبط با آن مشهود است بطور طبیعی این مقدار را تا حدودی توجیه می نماید. نمودار مقایسه ای رسم شده بر اساس قابلیت اطمینان تخصیص یافته به زیر سیستم ها در بهبود قابلیت اطمینان سیستم کمک شایانی می نماید (شکل ۸). همانطور که در شکل ۸ مشخص است بیشترین قابلیت اطمینان را باید بلبرینگ و اکچویتر داشته باشد و کمترین قابلیت اطمینان را نصیب هوزینگ شده است. در هر حال این محاسبات از دو جهت کمک عمده به ما می کند. اول اینکه از لحاظ بودجه بندی و هزینه برای ما تعیین می کند برای هر قطعه تا چه حد سرمایه گذاری کنیم و آن قطعه را با چه نوع کیفیتی تهیه کنیم و دیگر

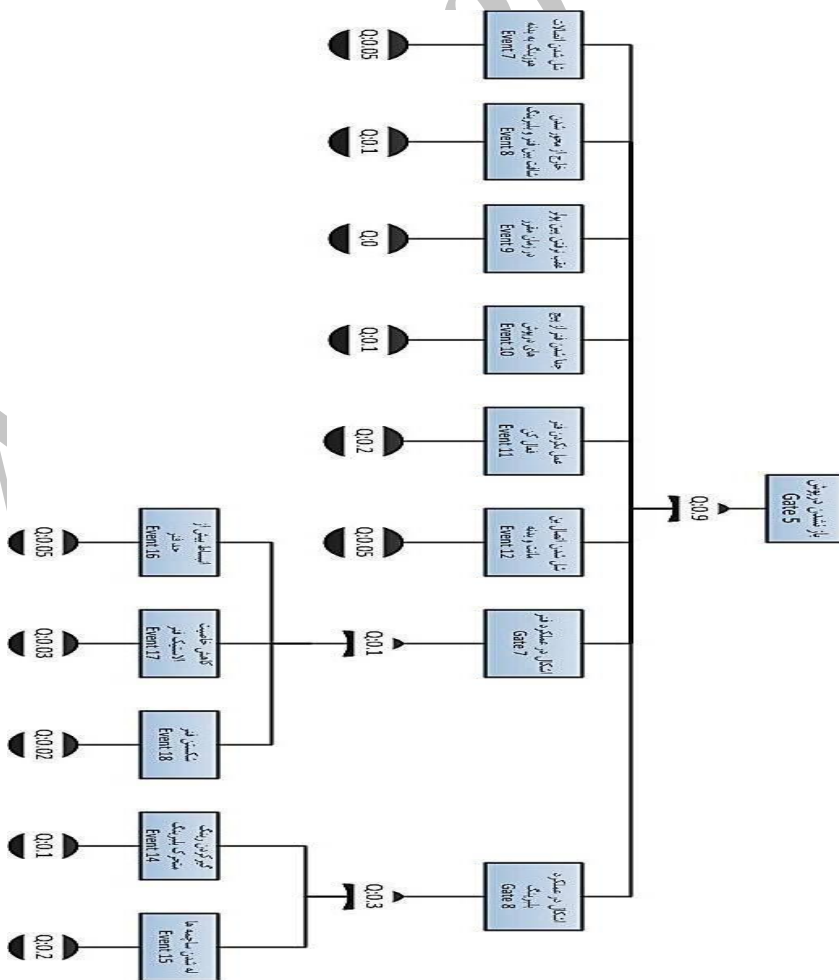


شکل ۸. نمودار مقایسه ای تخصیص قابلیت اطمینان به هر یک از اجزاء





شکل ۹. FTA باز شدن زودتر از موقع



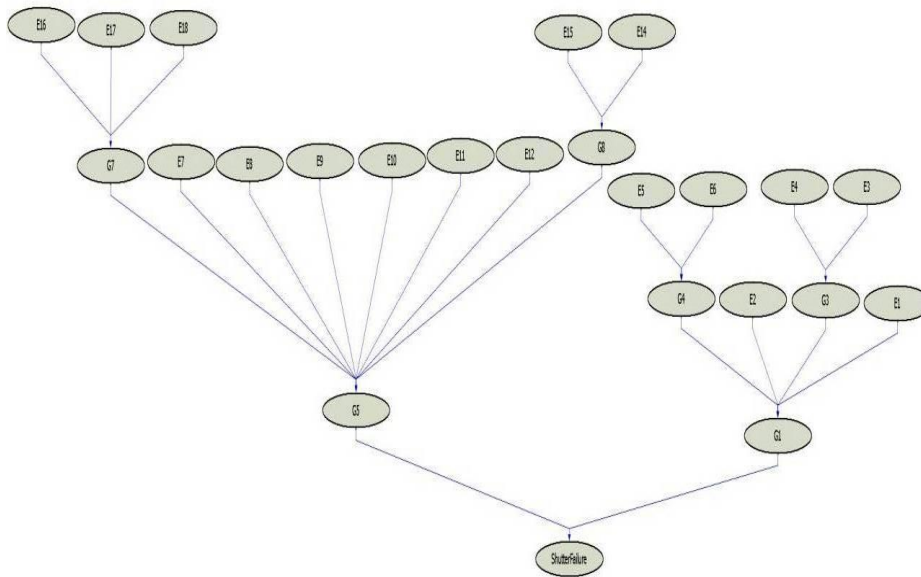
شکل ۱۰. FTA باز نشدن شاتر

Component	Failure Mode	Severity (S)	Occurrence (O)	Priority (P)	Exposure (E)	Weight (W)	Failure Rate ( $\lambda$ )	Reliability (R)	Part Name
component 1	↓	2.00	7.00	7.00	8.00	784	$\lambda_1 = 0.0825163$	R1 =	Structure
component 2	↓	8.00	2.00	2.00	8.00	256	$\lambda_2 = 0.0269441$	R2 =	Actuator
component 3	↓	3.00	7.00	2.00	8.00	336	$\lambda_3 = 0.0353641$	R3 =	رب
component 4	↓	3.00	5.00	7.00	8.00	840	$\lambda_4 = 0.0884103$	R4 =	فنر
component 5	↓	5.00	2.00	2.00	8.00	160	$\lambda_5 = 0.0168401$	R5 =	بلبرینگ
component 6	↓	3.00	5.00	7.00	8.00	840	$\lambda_6 = 0.0884103$	R6 =	مکملر فنر کن
component 7	↓	3.00	7.00	4.00	8.00	672	$\lambda_7 = 0.0707282$	R7 =	فلت بین فنر بلبرینگ
component 8	↓	7.00	2.00	5.00	8.00	560	$\lambda_8 = 0.0589402$	R8 =	میکروسویچ سفت شدن
component 9	↓	3.00	7.00	7.00	8.00	1176	$\lambda_9 = 0.1237744$	R9 =	Housing
component 10	↓							R10 =	قطعه واسطه کلویس
component 11	↓							R11 =	فلت بین پلر

جدول ۱. قابلیت اطمینان برای هر یک از اجزاء

جدول ۲. کدهای تخصیص یافته به گره های گراف بی‌زین

کد	نام اصلی گره	کد	نام اصلی گره
E9	عقب نرفتن پین پولر در زمان مقرر	G1	باز شدن زودتر از هنگام درپوش
E10	جدا شدن فنر از پیچ های درپوش	E1	بریدن هد پین پولر
E11	عمل نکردن فنر فعال کن	G3	اشکال در عملکرد کلویس
E12	شل شدن اتصال بن مانت و بدنه	E2	عملکرد پین پولر زودتر از زمان مقرر
G7	اشکال در عملکرد فنر	G4	اختلال در عملکرد مانت بین بدنه و پین پولر
G8	اشکال در عملکرد بلبرینگ	E3	از شدن پیچ کلویس
E16	انبساط بیش از حد فنر	E4	شل شدن پیچ کلویس
E17	کاهش خاصیت الاستیک فنر	E5	شل شدن اتصال بین مانت و بدنه
E18	شکستن فنر	E6	لشل شدن اتصال بین مانت و پین پولر
E14	گیر کردن رینگ متحرک بلبرینگ	G5	باز نشدن درپوش
E15	له شدن ساچمه ها	E7	شل شدن اتصالات هوزینگ به بدنه
		E8	خارج از محور شدن شافت بین فنر و بلبرینگ



شکل ۱۱. شبکه بیزین رسم شده از درخت های خرابی شاتر دوربین

Assessment (Model: Shutter Failure, Node: G8)

Parent Node(s)		G8		bar charts
E15	E14	Yes	No	
Yes	Yes	1.0	0.0	
	No	1.0	0.0	
No	Yes	1.0	0.0	
	No	0.28	0.72	

شکل ۱۲. نمایی از نحوه تخصیص قابلیت اطمینان به گره ها در نرم افزار MSBNX

Shutter Failure

- E1 = No
- E10 = No
- E11 = No
- E12 = No
- E14 = No
- E15 = No
- E16 = No
- E17 = No
- E18 = No
- E2 = No
- E3 = No
- E4 = No
- E5 = No
- E6 = No
- E7 = No
- E8 = No
- E9 = No
- G1 = No
- G3 = No
- G4 = No
- G5 = No
- G7 = No
- G8 = No
- ShutterFailure

Node Name	State 0	State 1
G1	Yes	No
G3	Yes	No
G4	Yes	No
G5	Yes	No
G7	Yes	No
G8	Yes	No
Shutter Failure	Yes	No
	0.6532	0.3468

شکل ۱۳. قابلیت اطمینان محاسبه شده توسط نرم افزار

### مراجع

- [۱] شریفی، محمد مهدی، غلامی مزینان، حسن، کرباسیان، مهدی، شریفی، محمد حسین. «مهندسی قابلیت اطمینان». انتشارات امید انقلاب. چاپ اول. تهران: ۱۳۹۱.
- [۲] دولتخواه، مهدی، موحدی، یزدان. «استفاده از شبکه های بیزین در محاسبه قابلیت اطمینان همراه با مطالعه موردی در یک سازه اپتیکی». پایان نامه کارشناسی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر. ۱۳۹۱.
- [۳] شهرابی فراهانی، حسین، نصیری، داود، هاشمی نژاد، سید محمود. «تخصیص قابلیت اطمینان به زیر سامانه های ماهواره نمونه»، مجموعه مقالات چهاردهمین کنفرانس سالانه (بین المللی) مهندسی مکانیک. ۱۳۸۵.
- [۴] شهنقی، کامران، شریفی، محمد مهدی، غلامی مزینان، حسن، کرباسیان، مهدی. «طراحی الگویی برای تخمین قابلیت اطمینان سازه ماهواره بر به روش شبکه های بیزین»، مجموعه مقالات دومین کنفرانس مهندسی قابلیت اطمینان. ۱۳۹۰.
- [5] Wikipedia, 2012, Functional flow block diagram [http://en.wikipedia.org/wiki/Functional\\_flow\\_block\\_diagram.html](http://en.wikipedia.org/wiki/Functional_flow_block_diagram.html)
- [6] Wikipedia, 2012, N2 chart [http://en.wikipedia.org/wiki/N2\\_chart.html](http://en.wikipedia.org/wiki/N2_chart.html)