

الگوریتم طراحی سیستمی سامانه‌های ویژه مأموریت با رویکرد قابلیت اطمینان

مهدی فکور^{۱*}، نگار مؤتمن^۲

۱- استادیار، مهندسی هواشناسی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران

* تهران، صندوق پستی ۱۴۱۵۵-۶۶۱۹ mfakoor@ut.ac.ir

چکیده

در این مقاله یک الگوریتم کارآمد در طراحی سیستمی سامانه‌های ویژه مأموریت با رویکرد قابلیت اطمینان ارائه شده و روند و چگونگی پیشرفت آن توضیح داده می‌شود. با به کارگیری این الگوریتم در طراحی زیرسیستم‌های سامانه‌های فضایی می‌توان به صورت سیستماتیک و استراتژیک به یک طراحی بهینه از لحاظ پارامترهای قابلیت اطمینان دست یافت. با وارد کردن پارامترهای درخت محصول شامل اطلاعات کلی زیر سیستم‌ها در الگوریتم و با شناخت حالت‌های شکست و روند رخداد هر حالت شکست، طراحی را اصلاح نموده و تمهدیات لازم برای جلوگیری و یا کاهش احتمال رخداد حالت شکست در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این رفتار دینامیکی سیستم تعیین شده و پاسخ حالت ماندگار و دائم سیستم با توجه به شرایط اولیه استخراج می‌گردد. در این راستا برای آشنایی بهتر با روند الگوریتم ارائه شده در ابتدا به تعریف یک سری مفاهیم اولیه و روش‌های تحلیل قابلیت اطمینان نظیر تحلیل درخت خط‌العمل، تحلیل تأثیر حالت شکست، تحلیل نمودار بلاک قابلیت اطمینان و تحلیل مارکوف می‌پردازیم. توزیع قابلیت اطمینان و دسترس پذیری برای فازهای مختلف رهایش و گسترش پنل خورشیدی با استفاده از نرم‌افزار ویندچیل به دست آمده و تأثیر محدوده‌های نزدیکی اجزای افزونه در قابلیت اطمینان، دسترس پذیری و ظرفیت عملکردی کل سیستم برسی شد. نتایج به دست آمده از تحلیل فازهای مختلف رهایش و گسترش نشان دادند که سیستم در انتهای هر فاز در حالت ماندگار خود قرار دارد. همچنین مشخص شد با کاهش نزدیکی اجزای افزونه قابلیت اطمینان، ظرفیت عملکرد و دسترس پذیری کل سیستم افزایش می‌یابد و به حالت پایداری می‌رسد.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دربافت: ۳۱ فروردین ۱۳۹۳

پذیرش: ۲۵ تیر ۱۳۹۳

ارائه در سایت: ۱۲ مهر ۱۳۹۳

کلید واژگان:

قابلیت اطمینان

دسترس پذیری

تحلیل درخت خط‌العمل

تحلیل مارکوف

گسترش پنل خورشیدی

System design algorithm for mission-oriented systems with reliability approach

Mehdi Fakoor^{1*}, Negar Motamen²

1- Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

* P.O.B. 14155-6619 Tehran, mfakoor@ut.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper

Received 20 April 2014

Accepted 16 July 2014

Available Online 04 October 2014

Keywords:

Reliability, Availability

Fault Tree Analysis (FTA)

Markov Analysis

Solar Panel Deployment

ABSTRACT

In this paper an efficient algorithm of system design with reliability approach is presented. Using this algorithm in subsystem designing of spatial systems may lead to systematically optimized design with reliability parameters attitude. By applying item tree parameters, including general subsystem parameters into the algorithm and by knowing failure modes and the occurrence rate of each failure mode, the design may be improved and necessary reconsiderations can be applied in order to prevent or reduce the probability of failure mode. Moreover, dynamic behavior of system is determined and steady state response of system is obtained according to initial conditions. First, some basic conceptual definitions including reliability, availability, capacity and failure rate are explained, then various reliability analysis methods like Fault Tree Analysis (FTA), Failure Mode Effect Analysis (FMEA), Reliability Block Diagram (RBD) and Markov analysis are discussed. Reliability and availability distribution over different phases of unlocking and deploying mechanisms are illustrated using Windchill solution. Subsequently the effect of the different ranges of failure rates of added components on reliability, availability and capacity of whole system is investigated. By analyzing the reliability and availability of system for different phases, it was found that the whole system is under stable situation at the end of each phase. Also, results showed that the reliability, availability and capacity of whole system increased and reached a stable level by minimizing the failure rate of the redundant components.

۱- مقدمه

هوافضا، صنایع پتروشیمی، نفت و گاز و تجهیزات هسته‌ای، قابلیت اطمینان از ویژگی بسیار مهم در برنامه‌ریزی، طراحی و بهره‌برداری کوچک‌ترین و ساده-

Please cite this article using:

M. Fakoor, N. Motamen, System design algorithm for mission-oriented systems with reliability approach, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 13, pp. 7-18, 2015
(In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

قابلیت روش ارائه شده را در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم نشان دادند [4]. کائونان ونگ و همکاران الگوریتمی برای تحلیل قابلیت اطمینان برای سیستم‌های باینری غیرقابل تعییر که تحت رخدادهای گسترش و جداسازی شکست به همراه تأثیرات شکست کلی و جزئی⁷ قرار می‌گیرند، ارائه کرده و روشی ترکیبی برای تحلیل شکست گسترش یافته با در نظر گرفتن اثرات کلی و جزئی ارائه کردن [5].

یوچانگ مو و همکاران به تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌های چندفازه تحمل پذیر خطای⁸ با مدت زمان تصادفی فاز پرداخته و یک روش حل با توزیع مدت زمان فاز تصادفی ارائه کردن [6].

پائولو بوجی و همکاران با ترکیب کردن مدل‌سازی مارکوف و تکنیک مسیر دهی سلول به سلول⁹، مدل دینامیکی درخت خطای سرویس را ارائه کرده و نشان دادند که درخت خطای سرویس را می‌توان برای هر سیستم ارزیابی خطر احتمالی¹⁰ که در آن تحلیل زیرسیستم خاصی مورد نیاز است، به کار برد [7].

دان ام شالو و همکاران به تحلیل درخت خطای سرویس در فاز طراحی پرداخته‌اند. با اعمال روش نظارت بر شرایط، مقادیر نرخهای شکست تجدیدنظر شده برای عضوهای حساس محاسبه شده و به نمودار درخت خطای سرویس اضافه می‌شود. در این روش با محاسبه دوره‌ای نرخ شکست بالاترین رخداد، احتمال شکست و احتمال عملکرد صحیح سیستم تعیین می‌گردد [8].

یانگ چیانزونگ و همکاران به کاربرد روش تحلیل مارکوف در ارزیابی اینمی سیستم کنترل پروازی پرداخته و با استفاده از روش تحلیل مارکوف و روش تحلیل درخت خطای سرویس نشان دادند که روش مارکوف دقت بیشتری را در تحلیل کمی رویدادهای ترتیبی دارد [9].

الکساندرو دوینگر گارسیا و همکاران روشی یکپارچه برای تحلیل قابلیت اطمینان و کارایی دینامیک برای سیستم‌های با تحمل پذیری خطای و به صورت خاص برای سیستم کنترل پروازی یک هوایپیمای جنگنده ارائه دادند که بر مبنای ارزیابی تحلیل دینامیکی پیکربندی‌های مختلف یک سیستم بعد از وقوع شکست عضو است و از زنجیره مارکوف برای مدل‌سازی فرآیند تصادفی استفاده می‌شود [10].

حی مین لو و همکاران روشی مبنی بر تجزیه کل مأموریت به رفتارهای منتظر سیستم و در نهایت به رفتار اجزا و استفاده از زنجیره زمان پیوسته مارکوف جهت مدل‌سازی رفتار شکست و تعییر هر عضو، برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم مأموریت فازی جامع به همراه عضوهای قابل تعییر ارائه دادند [11].

کوینگ لین و همکاران مکانیزم جدیدی برای گسترش و قفل سیستم چرخ‌نده برای فرود آرام کاوشگر ارائه کرده و برای انجام تحلیل‌های کیفی و کمی، مدل درخت خطای سرویس تهیه کرده و از طریق گشتاور استاتیکی و کار آن قابلیت اطمینان را برابر با 0/999334 محسوبه کرده‌اند [12].

کریم بروونی روش‌های دیاگرام بلاک قابلیت اطمینان¹¹ و تحلیل درخت خطای سرویس¹² را برای ارزیابی دسترس‌پذیری و کارایی یک واحد تراوشن معکوس¹³ در کارخانه تصفیه آب مورد بررسی قرار داد. مقایسه دو روش نشان

ترین زیرسیستم‌ها تا بزرگ‌ترین و پیچیده‌ترین سیستم‌ها است. در بسیاری از صنایع، از کار افتادن المان‌ها و زیرسیستم‌ها موجب بروز اختلال در سطح‌های مختلفی می‌شود و نه تنها خسارت‌های مالی و جانی سنگینی به بار می‌آورند، بلکه تهدید شدیدی برای جامعه و محیط زیست نیز تلقی می‌شوند. از این‌رو مهندسان و مدیران فنی که در جوامع مدرن مسئول برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری از سیستم‌های پیچیده می‌باشند، بایستی در تولید محصول‌ها و سیستم‌های پایای اطمینان بخش و اینم کوشنا باشند. چرا که طبق قوانین امروزی، تأمین کنندگان مواد و لوازم مخصوصاً طراحان و سازندگان محصول به عنوان مسئول خسارت‌های وارد آمده به سبب بروز عیب در محصول شناخته می‌شوند [1].

پیدایش شیوه‌های ارزیابی قابلیت اطمینان در ابتدا در صنایع هوافضا و کاربردهای نظامی در جنگ جهانی دوم در آلمان شکل گرفت [1]. پس از آن صنایعی مانند صنایع هسته‌ای با حساسیت بالا در جهت تضمین اینمی و قابلیت اطمینان راکتورهای هسته‌ای برای تولید انرژی الکتریکی و یا صنایع با فرآیندهای پیوسته مانند صنایع فولاد و صنایع شیمیایی که در آن‌ها هر ساعت از توقف در فرآیند، به علت وقوع عیب، موجب وارد آمدن خسارت‌های بزرگ مالی، جانی و آلودگی زیست محیطی می‌شود، ارزیابی قابلیت اطمینان را مورد توجه قرار دادند.

به عنوان مثال می‌توان به حادثه‌ی متلاشی شدن فضایپیمای چلنجر در 28 زانویه 1986 اشاره کرد که هفتاد و سه ثانیه پس از پرتاب بر فراز اقیانوس اطلس اتفاق افتاد و منجر به کشته شدن هفت تن از اعضای کایپنه فضایپیما شد [1]. دلیل این حادثه شل بودن پیچ نگهدارنده مخزن سوخت فضایپیما گزارش شد [1]. همچنین در صنایع هسته‌ای به حادثه نیروگاه چرنوبیل در سال 1986 می‌توان اشاره کرد [1]. همچنین بسیاری از حوادث دیگر که خسارت‌های چشمگیر و شدیدی بر روی جامعه و محیط زیست داشته‌اند. تمامی این موارد اهمیت ارزیابی قابلیت اطمینان، اینمی و احتمال خطر را مورد تاکید قرار داده است.

قابلیت اطمینان بالا در طول عمر انجام مأموریت یکی از نقاط تمرکز مهم در طراحی مکانیزم‌های فضایی است. دقت بالا در حین طراحی و ساخت مکانیزم برای یک بازه زمانی معین معمولاً منجر به کارکرد مکانیزم در بازه زمانی بیشتر می‌شود.

برای درک بهتر اهمیت قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری سیستم به ذکر چند نمونه از کارهای انجام شده می‌پردازیم. هانگبین لی و همکاران از روش مدل‌سازی تصادفی برای مطالعه مسئله ارزیابی قابلیت اطمینان برای سیستم‌های کنترل تحمل پذیر خطای سرویس¹ استفاده کرده و با ارائه شاخص قابلیت اطمینان و روش ارزیابی آن به کنترل عملکردی سیستم پرداختند [2].

روئی پنگ و همکاران به بررسی قابلیت اطمینان برای سیستم‌های مأموریت فازی² با ساختار موازی، با پوشش‌دهی بعد از رخداد خطای سرویس³ و با استفاده از روش ترکیبی دیاگرام‌های تصمیم‌گیری چندزاره⁴ پرداختند [3].

اکس زانگ و همکاران به ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم⁵ به صورت مسئله استنباط آماری شبکه‌های بایاسی⁶ پرداختند. نتایج به دست آمده

7- Global and Selective Failure Effects

8- Fault-Tolerant Multi-Phased Systems (FTMPS)

9- Cell-to-Cell Mapping Technique

10- Probability Risk Assessment

11- Reliability Block Diagram (RBD)

12- Fault Tree Analysis (FTA)

13- Reverse Osmosis (OR)

1- Fault Tolerant Control System (FTCS)

2- Phased Mission Systems (PMS)

3- Fault Level Coverage (FLC)

4- Multi-valued Decision Diagrams (MDD)

5- System Reliability Assessment (SRA)

6- Bayesian Networks (BNs)

رویکرد قابلیت اطمینان بهبود تمامی این پارامترها و فاکتورهای ارزیابی قابلیت اطمینان است.

2-2- محور ارزیابی قابلیت اطمینان
به طور کلی دو موضوع اساسی در ارزیابی قابلیت اطمینان مطرح است: یک موضوع تحت عنوان خطر² که صرفاً به لحاظ شدت قابل تقسیم‌بندی است و دیگری تحت عنوان احتمال خطر³ که علاوه بر شدت خطر احتمال وقوع آن را نیز مورد بررسی قرار می‌دهد [1].

روش ارزیابی قابلیت اطمینان بر محور ارزیابی احتمال خطر استوار است بنابراین به برسی هر دو موضوع شدت خطر و همچنین احتمال وقوع آن می‌پردازد [15,1]. این شیوه‌ها در تمامی زمینه‌های دیگر نیز که اثرات اجتماعی-اقتصادی دارند به کار گرفته شده‌اند. از جمله صنایع لوازم خانگی، صنایع اتمبیل و نظایر آن‌ها را می‌توان نام برد. پس می‌توان به این نتیجه رسید که امروزه شیوه‌های ارزیابی قابلیت اطمینان طیف گسترده‌ای از رشته‌های مهندسی را در بر می‌گیرد و در زمینه‌های مختلف الکتریکی، مکانیکی، شیمیایی و یا ساختمان قابل استفاده می‌باشد.

3- سیستم‌های ویژه مأموریت

وجود تنوع سیستم‌ها در عرصه‌های متفاوت موجب پیدایش تنوع شیوه ارزیابی قابلیت اطمینان می‌گردد. به طور کلی دو گروه عمده از سیستم‌ها وجود دارد، سیستم برای انجام مأموریت⁴ و سیستم با کار مداوم⁵ [1]. ویژگی مهم سیستم‌های ویژه مأموریت آن است که سیستم باید عملکردی بدون هیچ‌گونه نقص و از کار افتادگی در طول مأموریت خود داشته باشد. نکته قابل توجه در این سیستم‌ها آن است که از کار افتادگی اجزای سیستم مشروط بر اینکه بر تداوم عملکردی سیستم خللی وارد نکند و وقایعی در عملکرد درست و کامل سیستم برای مدت کوتاه و معین نداشته باشد، مجاز است [15,1].

3- روش کلی طراحی سیستمی بر اساس قابلیت اطمینان
روش کلی طراحی سیستمی بر اساس قابلیت اطمینان طبق الگوریتم ارائه شده از هفت مرحله اصلی تشکیل یافته است. تمامی این مراحل به هم مربوط بوده و می‌بایست به ترتیب و به دنبال هم طی شوند. در نمودار شکل 1 روند و روش کلی طراحی سیستمی بر اساس قابلیت اطمینان نشان داده شده است.

همان‌طور که در نمودار شکل 1 مشاهده می‌کنیم روند طراحی بر اساس قابلیت اطمینان با تعریف درخت محصول⁶ آغاز می‌شود. با مشخص بودن زیرسیستم‌ها و مازول‌های تشکیل دهنده سیستم و با در دست داشتن نرخ شکست هر مازول و قطعه، فاکتورها و پارامترهای اساسی قابلیت اطمینان که پیش‌تر به آن‌ها اشاره شد ارزیابی می‌گردد. لازم به ذکر است که مقدادر پارامترهای به دست آمده در این مرحله دقیق نمی‌باشند و تنها در حد پیش-بینی اولیه هستند. سپس به کمک تحلیل تأثیر حالت شکست⁷، حالت‌های شکست سیستم را بررسی کرده و عدد اولویت ریسک⁸ (احتمال خطر) را محاسبه می‌کنیم. چنانچه عدد به دست آمده برای اولویت ریسک برای یک حالت شکست بیش از 80 شد، می‌بایست تحلیل درخت خطا را انجام دهیم.

2- Hazard
3- Risk
4- Mission Oriented Systems
5- Continuously Operated Systems
6- Tree Item
7- Failure Mode Effect Analysis
8- Risk Priority Number

داد که روش دیاگرام بلوك قابلیت اطمینان برای ارزیابی دسترسی‌پذیری به دلیل امکان مدل‌سازی دقیق پیکربندی‌های پیچیده مناسب‌تر است [13].
جیانگینگ وو و همکاران به منظور یافتن مکانیزم‌های خطای سرویس در آرایه‌های خورشیدی از روش‌های تحلیل درخت خطا و برهان فازی شبکه‌ای پتری¹ استفاده کردند. تحلیل‌ها حاکی از آن هستند که محیط با گرمای نامتعادل و ضربات واردۀ از طرف ذرات معلق در فضای دلایل عمدۀ و اصلی در خطای سرویس آرایه‌های خورشیدی می‌باشد [14].

در این مقاله به ارائه الگوریتم طراحی برای تمامی سیستم‌ها و زیر سیستم‌های سامانه‌های فضایی بر اساس قابلیت اطمینان پرداخته می‌شود. با استفاده از این الگوریتم در طراحی به صورت سیستماتیک و استراتژیک به یک طراحی مناسب از لحاظ پارامترهای قابلیت اطمینان می‌توان دست یافت. همچنین می‌توان، در مرحله مناسب طراحی را اصلاح نموده و تمهیدات لازم برای جلوگیری و یا کاهش احتمال رخداد حالت شکست در نظر گرفته شود. علاوه بر این رفتار دینامیکی سیستم تعیین شده و پاسخ حالت ماندگار و دائم سیستم با توجه به شرایط اولیه استخراج می‌گردد.

2- تعاریف و مفاهیم

2-1- مفاهیم بنیادی قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان یک سیستم بیانگر توانایی عملکرد یک سیستم یا قطعه تحت شرایط مشخص برای مدت زمان معین است. تعریف دیگری که در توصیف قابلیت اطمینان ارائه گردیده است عبارت است از احتمال ماندن سیستم در شرایط کار رضایت بخش در زمان معین [1]. بنیادی‌ترین مفاهیم قابلیت اطمینان که شامل قابلیت اطمینان، دسترسی‌پذیری، نرخ شکست و ظرفیت عملکردی می‌باشند در تعیین احتمال خطر و شدت خطر تأثیر به سزایی دارند [15].

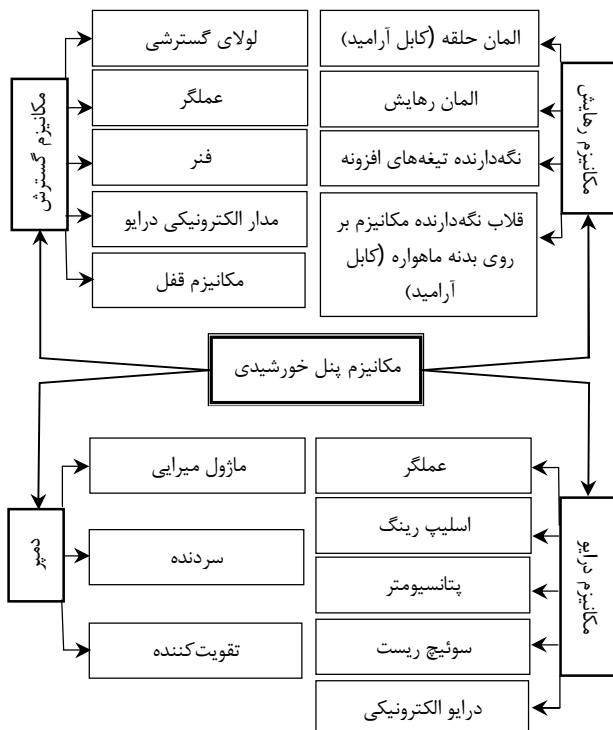
پس قابلیت اطمینان یک مقدار از نوع احتمال و بر اساس زمان است. این رو کامل‌ترین تعریفی که می‌توان از قابلیت اطمینان ارائه کرد عبارت است از احتمال باقی‌ماندن سیستم در حالت عملکرد رضایت بخش تحت شرایط کار مشخص برای مدت زمان معین؛ اما مفهوم قابلیت اطمینان تا زمانی که مفهوم کامل دسترسی‌پذیری مشخص نگردد و این دو مفهوم در کار یکدیگر قرار نگرفته و باهم مقایسه نشوند قبل درک نمی‌باشد.

دسترسی‌پذیری عبارت است از میزان فعال بودن و در حال کار بودن سیستم در یک بازه زمانی مشخص. به عنوان مثال چنانچه دسترسی‌پذیری یک سیستم برابر 60 درصد باشد، بدین معنی است که در طول یک مدت زمانی معین 60 درصد موقع سیستم در حال کار است.

مقدار انتظار یا مقدار میانگین در تابع توزیع احتمال از کار افتادن معمولاً با نام مدت زمان میانگین تا لحظه از کار افتادن یا نرخ شکست شناخته می‌شود که در توزیع نمایی مقدار آن مکوس آهنگ از کار افتادن، λ می‌باشد [15,1]. پس نرخ شکست به صورت فرکانس از کار افتادگی قطعات و یا یک سیستم در بازه زمانی مشخص تعریف می‌شود که واحد سنجش آن تعداد بر ساعت (ممولًا میلیون ساعت) است. در رابطه با نرخ شکست، برخلاف دو پارامتر قابلیت اطمینان و دسترسی‌پذیری که هدف بهبود آن‌ها است، کاهش مقدار آن مطلوب است.

ظرفیت عملکردی سیستم نیز میانگین توان عملیاتی، منفعت و یا سود سیستم است که در ارزیابی قابلیت اطمینان مورد توجه قرار می‌گیرد و هدف از بهبود آن افزایش مقدار آن است. در نهایت هدف از طراحی سیستم با

1- Fuzzy Reasoning Petri Net (FRPN)



شکل 2 نمودار درخت محصول برای مکانیزم صفحات خورشیدی ماهواره

انجام می‌شوند. پس از آن معادله‌های ریاضی و آماری مربوط به سیستم استخراج می‌شود. از روی این معادلات می‌توانیم نرخ شکست کلی سیستم را به دست آوریم. برای به دست آوردن نرخ شکست کلی سیستم می‌باشد نرخ شکست تک قطعات را با یکدیگر جمع نمود. به عنوان مثال سیستمی را در نظر بگیرید که مشکل از زیر سیستم‌های A و B می‌باشد به طوری که زیرسیستم A دارای 5 قطعه که نرخ شکست هر کدام برابر یک شکست در هر میلیون ساعت کارکرد می‌باشد و زیرسیستم B دارای 5 قطعه که نرخ شکست هر یک برابر سه شکست در هر میلیون ساعت کارکرد است بنابراین نرخ شکست زیرسیستم A و B به ترتیب برابر با 5 و 15 شکست در هر میلیون ساعت کارکرد خواهد بود. در نهایت نرخ شکست کل سیستم برابر 20 شکست در هر میلیون ساعت کارکرد است [15].

همان طور که مشاهده می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که سادگی طراحی و عدم استفاده از قطعات پیچیده و اضافی چه اندازه در نرخ شکست سیستم مهم است. پس تا حد امکان طراحی می‌باشد ساده و غیر پیچیده بوده و از هر قطعه استفاده‌ی بهینه گردد. پس از انجام محاسبات ممکن است به این نتیجه برسیم که نرخ شکست اولیه سیستم که در این مرحله به دست آمده است، مناسب نیست. در این صورت می‌باشد در درخت محصول تعریف شده بازنگری کلی کرده و برخی از مازول‌های سیستم را دورباره تعریف کنیم. البته باید توجه داشته باشیم که مفهوم افزونگی را در این قسمت نباید وارد کنیم، زیرا در این قسمت نمی‌توان محاسبات مربوط به سیستم‌های موازی و افزونه را انجام داد. چنانچه مازول‌های افزونه در محاسبات وارد شوند به عنوان قطعات اصلی در نظر گرفته خواهند شد و به علت افزایش نامرتبه تعداد مازول‌ها نرخ شکست کلی سیستم بالا رفته و قابلیت اطمینان سیستم پایین می‌آید. در صورتی که واقعیت امر این گونه نیست.

باز بر این نکته تأکید می‌شود که در این قسمت تنها پیش‌بینی اولیه قابلیت اطمینان انجام می‌شود و این پیش‌بینی ممکن است برای سیستم‌های پیچیده اصلًا هم دقیق نباشد. نکته اصلی در این قسمت تعریف سیستم و

در این مرحله، از روند رخداد حالت شکست به خوبی آگاه شده و از طریق آن می‌توانیم به راحتی نقاط ضعف طراحی را برطرف نموده و آن را اصلاح کنیم. همچنین در این مرحله مشخص می‌گردد که در چه مازول‌هایی می‌باشد از قطعات افزونه استفاده کرد.

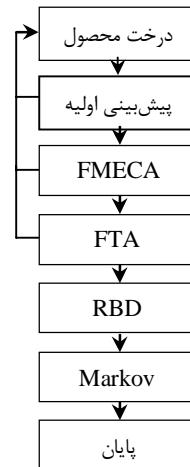
تا این مرحله به طور تقریبی به طراحی بهبود یافته و مورد نظر از سیستم رسیده و قطعات و مازول‌ها تعیین شده‌اند. در مراحل بعدی می‌باشد پارامترهای ارزیابی قابلیت اطمینان مشخص گردد. برای محاسبه تمامی پارامترهای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم به طور دقیق از تحلیل نمودار بلک قابلیت اطمینان استفاده می‌کنیم. در مرحله آخر از طریق تحلیل مارکوف¹ نمودار حالت سیستم را رسم نموده و معادلات حالت گذرا و ماندگار سیستم را به دست می‌آوریم و با مقداردهی شرایط اولیه، حالت ماندگار سیستم را به دست می‌آوریم. با توجه به بررسی‌های انجام شده نمودار درخت محصول برای مکانیزم صفحات خورشیدی ماهواره در شکل 2 نشان داده شده است.

1-3- درخت محصول

در ابتدا تیمهای طراحی می‌باشد لیستی از تمامی مازول‌ها و قطعات زیر-سیستم‌ها تهیه کنند. درخت محصول شامل تمامی زیرسیستم‌ها به همراه تمامی قطعات و اجزای آن‌ها است. تعریف درخت محصول نقطه شروع طراحی سیستم بر اساس قابلیت اطمینان است و چنانچه به طور مناسب تعریف نشود مراحل طراحی با پیچیدگی رو به رو شده و به کندي پيش خواهد رفت. در این مرحله با مشخص شدن مازول‌ها و قطعات نرخ شکست اجزای تشکیل دهنده نیز مشخص می‌شود.

2- پیش‌بینی اولیه قابلیت اطمینان

پیش‌بینی قابلیت اطمینان یک روش تحلیل کمی است که برای پیش‌بینی اولیه و پایه‌ی قابلیت اطمینان و نرخ شکست سیستم به کار می‌رود [15]. در این تحلیل می‌باشد اطلاعات دقیقی درباره نرخ شکست تمامی اجزای سیستم در دست داشته باشیم. در حقیقت این تحلیل نقطه شروع انجام تحلیل‌های قابلیت اطمینان برای سیستم است. قبلًا توسط درخت محصول سیستم را به همراه تمامی مازول‌های سازنده آن تعریف کرده‌ایم و نرخ شکست تمامی اجزای تشکیل دهنده مشخص است. تعریف سیستم و مازول‌های آن و تعیین نرخ شکست آن‌ها در این مرحله مهم‌ترین و اساسی‌ترین قسمت است؛ زیرا تمامی تحلیل‌ها و محاسبات دیگر نیز بر پایه این قسمت



شکل 1 نمودار روند و روش طراحی سیستمی با رویکرد قابلیت اطمینان

1- Markov Analysis

4- تحلیل درخت خطا

یکی از روش‌های تحلیل، روش رویکرد بالا به پایین و رویدادگر⁵ است. این روش تحلیل بر مبنای یک سری قواعد منطقی است و از قوانین جبر بولی تعیین می‌کند و به تولید یک مدل منطقی از گیت‌های منطقی منجر می‌شود [17]. برای تحلیل یک حالت شکست از سیستم می‌توان تحلیل درخت خطا انجام داد. در این تحلیل از طریق جبر بولی می‌توان مجموعه‌ای از رویدادهای سطح پایین را باهم به صورت طبقه‌بندی ترکیب کنیم تا به حالت شکست اصلی برسیم.

ویژگی‌های مهم این تحلیل عبارت‌اند از:

1- درک بهتر منطق رخداد حالت شکست

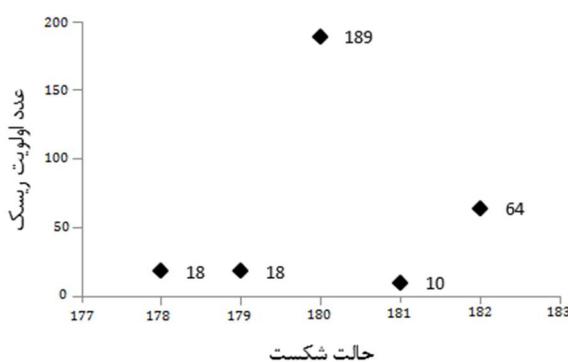
2- کنترل و مانیتور کردن روند عملکرد مطمئن در سیستم‌های پیچیده

3- یکی از ابزارهای طراحی برای کمک به یافتن الزامات مهم سیستم در این روش حالت شکست به عنوان بالاترین رخداد⁶ در نظر گرفته می‌شود و شرایطی که منجر به رخداد حالت شکست می‌شود، در یک سطح پایین‌تر، از طریق گیت‌های منطقی اضافه می‌شوند. به همین ترتیب باز هم شرایط و دلایلی را که منجر به هر کدام از دلایل رخداد شکست اصلی می‌شوند در یک سطح پایین‌تر اضافه می‌کنیم. این روند تا جایی ادامه دارد که به دلایل پایه برسیم. یکی از مهم‌ترین خروجی‌های این تحلیل کاتست⁷ کمینه می‌باشد. در این قسمت، یک ترکیب منحصر به فرد از شکست قطعات و رخداد حالت شکست است که حتماً می‌باشد کنترل شود.

پس از شناخته شدن روند رخداد حالت‌های شکست می‌توان طراحی را به گونه‌ای اصلاح کرد که به طور مثال یک روند رخداد خاص حذف گردد و یا

جدول 1 مقادیر ورودی نرم‌افزار ویندچیل به منظور تحلیل تأثیر حالت شکست برای مکانیزم رهایش

حالت شکست	شدت	میزان رخداد	آشکاربازیری
شکست در رخداد فرمان الکترونیکی	9	1	2
شکست در زیرسیستم الکترونیکی	9	7	3
شکست در عملگر انفجاری	9	1	2



شکل 3 نمودار عدد اولویت ریسک به دست آمده به کمک تحلیل تأثیر حالت شکست برای مکانیزم رهایش

5- Event - Oriented

6- Top Event

7- Minimum Cut Sets

بخش‌های مختلف آن است و تا آخرین مرحله مازولهای سیستم ممکن است تغییرات زیادی داشته باشند.

3- تحلیل تأثیر حالت شکست

در این مرحله تمامی حالت‌های شکست را قطعه به قطعه و نیز از لحاظ عملکرد بررسی می‌کنیم و عدد اولویت ریسک مربوط به هر یک از قطعات و عملکردهای سیستم را به دست می‌آوریم [16]. در تحلیل عملکرد¹ به بررسی عملکردهای خواسته شده از یک سرویس و یا محصول پرداخته می‌شود و به مشخصات و ویژگی‌های موارد به کار رفته توجهی نمی‌شود. این تحلیل در هر سطحی از عملکرد می‌تواند انجام شود. در این مرحله می‌باشد علاوه بر تمامی حالت‌های شکست، درصد سهم هر حالت از کل حالت‌های شکست، تأثیر محلی رخداد حالت شکست، علت رخداد حالت شکست، راههای کنترل حالت شکست و در نهایت گروه مسئول در برای رخداد شکست نیز مشخص گردد. علاوه بر تمامی پارامترهای گفته شده، به منظور محاسبه عدد اولویت ریسک می‌باشد سه کمیت دیگر نیز مقداردهی شوند. این کمیت‌ها شامل شدت²، میزان آشکاربازیری³ و میزان رخداد⁴ می‌باشند.

شدت، یک عدد اختصاصی است که نشان‌دهنده شدت تأثیر حالت شکست خاص است. دامنه تغییر این عدد بین 0 تا 10 بوده و هرچه مقدار آن به 10 نزدیک‌تر باشد شدت تأثیر حالت شکست بر روی سیستم بیشتر خواهد بود. این عدد از طریق آزمایش و به صورت تجربی به دست می‌آید [16].

میزان رخداد نیز از جنس شدت بوده و یک عدد اختصاصی بین 1 تا 10 است و نشان‌دهنده آن است که هر چند وقت یکبار این حالت شکست اتفاق می‌افتد. این عدد هرچه بزرگ‌تر باشد نشان‌دهنده تعداد دفعات بیشتر رخداد آن حالت شکست خاص است. این عدد اختصاصی به صورت تجربی و آزمایش‌های مکرری که انجام می‌شود، به دست می‌آید.

برعکس شدت و میزان رخداد، میزان آشکاربازیری که نشان‌دهنده میزان تشخیص اتفاق افتادن حالت شکست است، هرچه به 10 نزدیک‌تر باشد بدین معنی خواهد بود که میزان تشخیص رخداد آن کمتر می‌باشد. با مشخص شدن این اعداد، می‌توان از طریق معادله 1 عدد اولویت ریسک را به دست آورد [16].

(1) $\text{میزان آشکاربازیری} \times \text{میزان رخداد} \times \text{شدت} = \text{عدد اولویت ریسک}$
هرگاه عدد اولویت ریسک برای یک حالت شکست بزرگ‌تر از 80 شود، ریسک (احتمال خطر) نسبتاً بالایی دارد. جدول 1 نشان‌دهنده پارامترهای ورودی نرم‌افزار ویندچیل برای تحلیل تأثیر حالت شکست فرآیند رهایش می‌باشد.

برای افزایش قابلیت اطمینان و پایین آوردن احتمال رخداد در چینین حالت شکستی می‌توان تحلیل درخت خطا انجام داد. با انجام تحلیل درخت خطا چنانچه نتوان طراحی را اصلاح نمود و یا تمهیدی برای پایین آوردن احتمال وقوع آن اندیشید، حداقل می‌توان روند رخداد آن حالت شکست را زیر نظر گرفته و به سرعت از رخداد آن مطلع شد.

شکل 3 مقادیر بحرانی را برای عدد اولویت ریسک برای مکانیزم رهایش ماهواره نشان می‌دهد. چنانچه از شکل مشخص است مقدار عددی اولویت ریسک برای حالت 180 بیشتر از مقدار اطمینان آن، 80، می‌باشد؛ بنابراین نیاز است تا برای این حالت تحلیل درخت خطا انجام شود.

1- Functional Analysis

2- Severity

3- Detection

4- Occurrence

سیستم‌هایی کاربرد دارد که به طور پیوسته و یا ناپیوسته نسبت به زمان و یا فضای حالت در تغییرند. این تغییرات پیوسته یا ناپیوسته اتفاقی را اصطلاحاً فرآیند اتفاقی می‌نامند. به طور کلی در مدل مارکوف، هم زمان و هم فضا به شکل پیوسته و یا ناپیوسته قابل تلقی است. در ارزیابی قابلیت اطمینان عumoًضا را به عنوان تابع ناپیوسته ارائه می‌کنند زیرا موقعیت مکانی به صورت ناپیوسته، هویت‌پذیر و مشخص کننده محل استقرار برای یک سیستم و اجزای آن است. در حالی که زمان، هم به صورت پیوسته و هم ناپیوسته می‌تواند منظور شود. حالت ناپیوسته به عنوان زنجیره مارکوف و حالت پیوسته با عنوان فرآیند مارکوف شناخته می‌شود. اگرچه روش مارکوف در ارتباط با حل مسائل سیستم‌های تعمیرپذیر با مدت تعییر طولانی مطرح شد ولی از این روش برای ارزیابی سیستم‌های تعمیرنپذیر هم می‌توان استفاده کرد [1]. بنابراین برای امکان‌پذیری کاربرد روش مارکوف کافی است تا الزامات

سه گانه زیر فراهم باشد [1]:

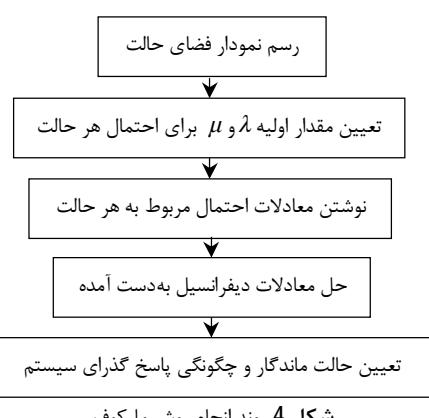
1- پایداری رفتار سیستم

2- هویت‌پذیری وضعیت و حالت‌های سیستم

3- فقدان حافظه فرآیندهای سیستم.

در این قسمت شیوه بررسی سیستم فرآیندهای ایستای مارکوف توصیف می‌شوند. بین مفهوم که احتمال شرطی وقوع از کار افتادن آن‌ها برای هر دامنه زمانی (معین) ثابت می‌ماند و رفتار سیستم در مراحل از کار افتادن و تعمیر توسط تابع توزیع نمایی با شبیه منفی توصیف می‌شود. شیوه انجام و مراحل روش مارکوف در نمودار شکل 4 آمده است.

نمودار فضای حالت در واقع همان نمودار تغییر حالت سیستم می‌باشد که برای هر سیستم متفاوت است. به کمک نمودار فضای حالت تعداد حالت‌های کارکرد سیستم مشخص می‌شود. در این قسمت دسترسی‌پذیری سیستم که همان حالت کارکرد رضایت‌بخش سیستم است مشخص می‌گردد. با داشتن نرخ از کارافتادگی (λ) و نرخ تعمیر شدن (μ) که در حقیقت همان نرخ‌های تغییر حالت یک سیستم از یک وضعیت به وضعیت دیگر می‌باشند، معادلات احتمال وابسته به زمان را برای اتفاق افتادن یک وضعیت به دست می‌آوریم. در این مرحله به یک دستگاه معادلات دیفرانسیل می‌رسیم که تعداد معادلات این دستگاه برابر با تعداد حالات سیستم است. برای حل معادلات دیفرانسیل به دست آمده می‌باشد که حالت اولیه هر وضعیت سیستم را در لحظه صفر معلوم کنیم. عumoً حالت اولیه سیستم را در شرایط کارکرد رضایت‌بخش در نظر می‌گیریم. بین ترتیب احتمال تمامی وضعیت‌های کارکرد به جز وضعیت کارکرد رضایت‌بخش برابر صفر و تنها احتمال وضعیت



شکل 4 روند انجام روش مارکوف

کمترین احتمال رخداد آن به حداقل برسد. در همین قسمت با توجه به نتایج به دست آمده در این قسمت می‌توان تصمیم گرفت که کدامیک از قطعات می‌باشد به طور افزونه به کار روند. در نهایت حتی اگر نتوان هیچ تمهدی برای برطرف کردن مشکل اندیشید، حداقل با اطلاع از چگونگی روند رخداد حالت شکست، می‌توان آن را زیر نظر گرفت. چنانچه بخواهیم با توجه به اطلاعات به دست آمده تغییری در طراحی بدھیم و یا قطعاتی را اضافه و حذف کنیم می‌باشد دوباره به مرحله درخت محصول بازگشته و تمامی مراحل را تا این قسمت دوباره طی کنیم.

تا این قسمت تقریباً به طور قطعی زیر سیستم‌ها، مازول‌ها و قطعات مشخص گردیده‌اند و دو مرحله باقی‌مانده دیگر تنها به ارزیابی پارامترهای قابلیت اطمینان و تعیین حالت‌های دینامیک، گذرا و ماندگار سیستم می‌پردازند.

5-3- نمودار بلاک قابلیت اطمینان

نمودارهای بلاک قابلیت اطمینان برای مدل کردن سیستم‌هایی به کار می‌روند که شامل ترکیبی از انواع مختلف سیستم‌های سری و موازی می‌باشند. این سیستم‌ها تنها به صورت سری یا موازی نیستند، بلکه ترکیبی از آن‌ها برای محاسبه قابلیت اطمینان در سیستم‌های پیچیده هستند. این روش برای بررسی محسبات مربوط به سیستم‌های افرونه بسیار مناسب است.

هنگامی که تمامی قطعات یک سیستم به صورت سری باشد، می‌باشد تمامی قطعات به صورت صحیح کار کنند تا سیستم نیز مأموریت را با موقفيت انجام دهد. در صورتی که یکی از قطعات سری شده با شکست مواجه شود، سیستم نیز با شکست مواجه خواهد شد؛ اما در صورتی که برای هر قطعه (حداقل برای قطعات مهم و بحرانی) از قطعه پشتیبان یا موازی (یسته به نوع قطعه و اهمیت کارکرد صحیح آن قطعه) استفاده گردد، در این صورت یک شکست ساده در یک قطعه منجر به شکست سیستم نخواهد شد؛ زیرا قطعه پشتیبان به جای قطعه اصلی موجب کارکرد سیستم خواهد شد [15,1].

به منظور انجام تحلیل نمودار بلاک قابلیت اطمینان برای یک سیستم، بایستی یک مأموریت اصلی و کلی برای آن تعریف کرد. در ادامه کل مأموریت سیستم را به فازهای مختلف تقسیم‌بندی کرده و تحلیل نمودار بلاک قابلیت اطمینان را به طور جداگانه برای هر فاز انجام داد. تا این قسمت پارامترهای قابلیت اطمینان برای هر فاز به طور جداگانه به دست آمده است و می‌توان هر فاز را به صورت یک سیستم واحد که دارای پارامترهای قابلیت اطمینان خاص می‌باشد در نظر گرفت. سپس با در کنار هم قرار دادن هر یک از فازها به صورت سری و رعایت ترتیب و در نظر گرفتن کل سیستم به صورت مجموعه‌ای از این فازها می‌توان قابلیت اطمینان را برای کل سیستم به دست آورد.

6- روش مارکوف

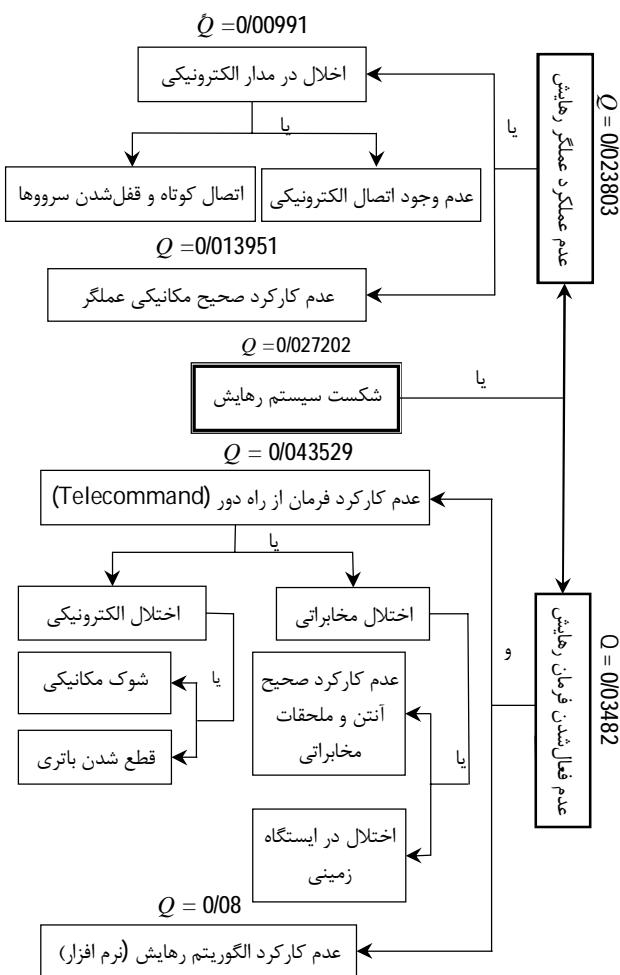
روش‌های تحلیلی متعددی برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های تعمیرنپذیر و همچنین سیستم‌های تعمیرپذیر ارائه گردیده است. یکی از روش‌های مهمی که برای این مورد مناسب است و در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است روش مدل‌سازی مارکوف می‌باشد. روش مارکوف در اصل به منظور محاسبه نهایی قابلیت اطمینان سیستم و برای به دست آوردن پاسخ گذرا و ماندگار سیستم در حین تغییر از حالت کارکرد عادی به معیوب و یا بر عکس است. روش مارکوف برای مدل‌سازی رفتار اتفاقی

پارامترهای ورودی مشخص می‌شود که عدد اولویت برای حالت شکست 189 بالاتر از 80 است؛ بنابراین نیاز است تا تحلیل درخت خطای محصول را بر روی آن انجام دهیم.

طبق اصول ارائه شده، از روش آنالیز رویدادگرا برای این منظور استفاده خواهیم کرد. از نرم‌افزار ویندچیل برای تعیین کاتست‌های کمینه که بیانگر کاتست‌های بحرانی با بیشترین احتمال وقوع می‌باشند، استفاده خواهد شد.

1-4- تحلیل درخت خطای برای سیستم رهایش صفحات خورشیدی
دو دلیل اصلی شکست در سیستم رهایش عبارت است از عدم عملکرد عملگر رهایش و عدم فعال شدن فرمان رهایش. همان‌طور که در شکل 7 مشاهده می‌کنیم، عدم فعال شدن فرمان رهایش زمانی اتفاق می‌افتد که هم الگوریتم رهایش (نرم‌افزار) دچار شکست شود و هم از ایستگاه زمینی از طریق فرمان از راه دور نیز نتوان فرمان رهایش را صادر کرد. با توجه به شکل 7 کاتست کمینه مربوط به عدم وجود اتصال الکترونیکی ناشی از اخلال در مدار الکترونیکی است که باعث عدم عملکرد عملگر رهایش می‌شود.

با توجه به تحلیل‌های شکست انجام شده برای سیستم‌ها یکی از دلایل اصلی شکست عدم کارکرد مدار الکترونیکی یا فعال نشدن فرمان الکترونیکی است و می‌توان علت آسیب دیدن این اجزا را وارد شدن شوک و ضربات مکانیکی دانست. پس تا جای ممکن می‌بایست ضربات و شوک‌های مکانیکی را با استفاده از دمپرهای کاهش داد. در این میان استفاده از عملگرهای انفجاری



شکل 7 نمودار رویدادگرایی تحلیل درخت خطای برای سیستم رهایش

کار کرد رضایت‌بخش برابر یک است. پس از حل دستگاه معادلات دیفرانسیل و به دست آوردن احتمالات وضعیت‌های سیستم وابسته به زمان، به راحتی می‌توان پاسخ گذرا و ماندگار هر یک را مشخص کرد.

در شکل 5 شماتیک از فضای حالت برای عضو تعییرپذیر با نرخ از کار افتادگی و نرخ تعییرپذیری ثابت نشان داده شده است.

در شکل 6 نمودار فضای حالت با دو نرخ شکست برای یک سیستم مأموریت ویژه نظریه ماهواره نشان داده شده است. تنها وجه اختلاف سیستم‌های ویژه مأموریت در مقایسه با سیستم‌های تعییرپذیر در این است که حالت گذرا و تعییر و بازیافت در آن‌ها وجود ندارد. بدین ترتیب چون در این سیستم امکان ارتباط میان حالتها وجود ندارد و به عبارتی وجود حالت ماندگار مطرح است بنابراین سیستم دیگر ارجومندی¹ نیست. در این سیستم‌ها برای اجزای حساس و مهم از یک یا چند افزونه استفاده می‌شود. سیستم‌ها بر اساس استفاده از اجزای افزونه به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند:

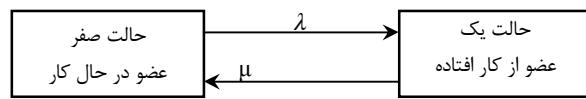
- حالت جانشین: در این حالت قطعه یا عضو افزونه در حالت عادی کار نمی‌کند. قطعه جانشین زمانی شروع به کار می‌کند که قطعه اول دچار شکست شده باشد و نقش پشتیبان را برای قطعه اول دارد. مزیت این حالت در این می‌باشد که نرخ شکست کل سیستم کاهش می‌یابد اما مقدار تأخیر زمانی در راهاندازی قطعه جانشین بسیار با اهمیت است. به عنوان مثال این حالت بیشتر برای قطعات الکترونیکی اتفاق می‌افتد.

- حالت موازی: در این حالت عضو افزونه حتی در حالت عادی نیز در حال کار است. مزیت این حالت در این است که پس از شکست قطعه اول مقدار زمانی تأخیر برای راهاندازی قطعه جانشین وجود ندارد؛ اما در این حالت به علت اینکه قطعه جانشین همواره در حال کار بوده است، نرخ شکست کل سیستم را افزایش می‌دهد.

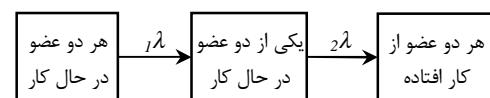
با استفاده از روش مارکوف به راحتی می‌توان رفتارهای دینامیکی سیستم را شناخته و هر یک را بررسی کرد. همچنین با به دست آوردن معادلات احتمال وابسته به زمان تأثیر پارامترهای متفاوت را بر روی پاسخ‌های گذرا و ماندگار سیستم بهتر می‌توان شناخت و حتی با تغییر پارامترهای مهم می‌توان تا حد خوبی پاسخ‌های سیستم را کنترل نمود.

4- نتایج

در این مرحله به نتایج بررسی عملکردی صفحات خورشیدی ماهواره که شامل عملکرد رهایش و عملکرد گسترش است، می‌پردازیم. با توجه به درخت محصول ارائه شده در شکل 2 و تحلیل تأثیر درخت شکست بر روی

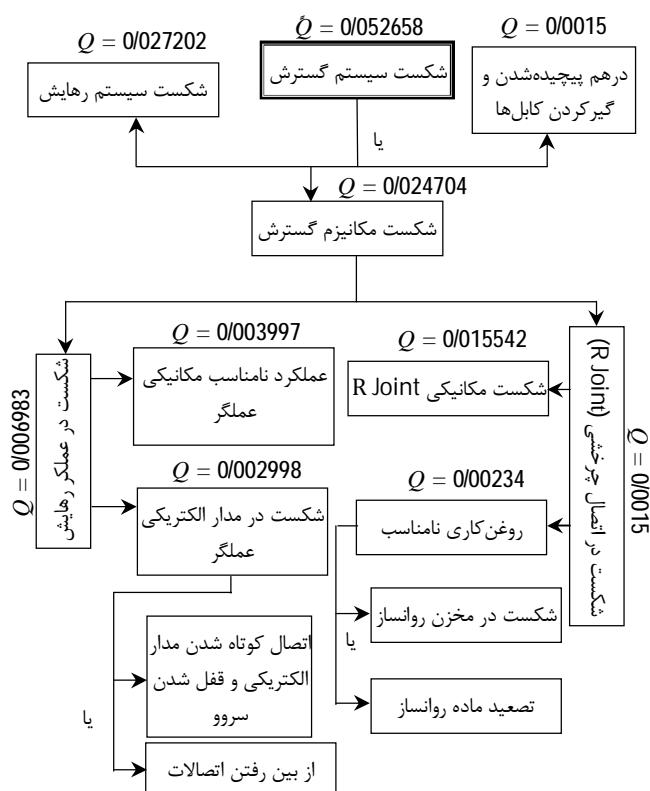


شکل 5 فضای حالت عضو تعییرپذیر

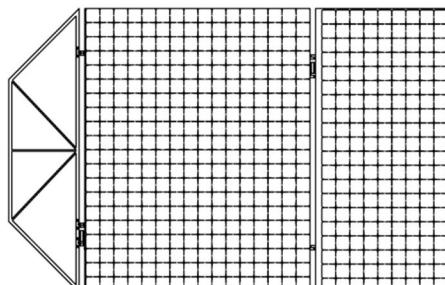


شکل 6 نمودار فضای حالت برای سیستم ویژه مأموریت (تعییرپذیر)

1- ergodic



شکل 8 نمودار رویدادگرای تحلیل درخت خطا برای سیستم گسترش

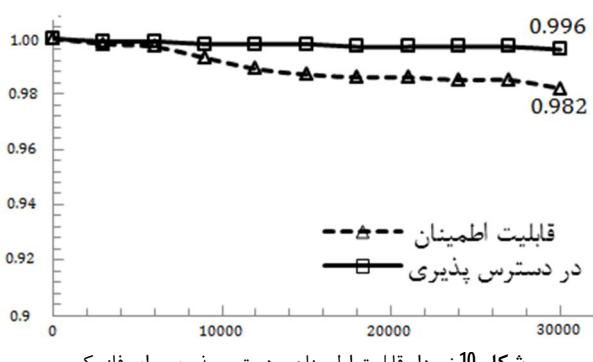


شکل 9 چیدمان پنل خورشیدی ماهواره

2-3-4- فاز دوم: گسترش یافتن پنل شماره دو (پنل کوچک)

مهم‌ترین تجهیزات در این قسمت عبارت‌اند از:

- اتصال لولایی بین دو پنل کوچک و بزرگ
- سروو موتور به کار رفته برای چرخاندن اتصال لولایی بین دو پنل
- مدار الکتریکی که از طریق آن فرمان سروو تولید می‌شود.



شکل 10 نمودار قابلیت اطمینان و دسترس پذیری برای فاز یک

خدود یکی از مهم‌ترین دلایل ایجاد شوک و ضربات مکانیکی مخرب برای ادوات الکترونیکی است. هرچند که خود عملگر از نرخ شکست بسیار پایین و قابلیت اطمینان بسیار بالا برخوردار است، اما موجب افزایش نرخ شکست و کاهش قابلیت اطمینان تمامی تجهیزات الکترونیکی می‌گردد.

2-4- تحلیل درخت خطا برای شکست سیستم گسترش پنل خورشیدی سه دلیل عمدۀ شکست سیستم گسترش عبارت است از: شکست در سیستم رهایش، شکست مکانیزم گسترش و درهم پیچیده‌شدن و گره خوردن کابل‌ها. همان‌طور که در دلایل رخداد شکست در سیستم گسترش مشاهده می‌کنیم، شکست در سیستم رهایش موجب شکست در سیستم گسترش پنل می‌شود. پس می‌توان گفت عملکرد سیستم گسترش مستقل از عملکرد سیستم رهایش نیست.

همان‌طور که در شکل 8 مشاهده می‌شود، کلتست کمینه مربوط به سیستم رهایش است و بدان معنی است که سیستم گسترش نه تنها به سیستم رهایش بستگی دارد بلکه بحرانی‌ترین، محتمل‌ترین و مهم‌ترین روند رخداد شکست در سیستم گسترش می‌باشد.

3- مأموریت صفحات خورشیدی ماهواره شکل 9 چیدمان پنل خورشیدی ماهواره را نشان می‌دهد. پنل کوچک‌تر در سمت راست، پنل بزرگ‌تر در وسط و یوک در سمت چپ قرار دارد که به وسیله لولا به هم متصل شده‌اند.

این مأموریت متشکل از چهار فاز است:

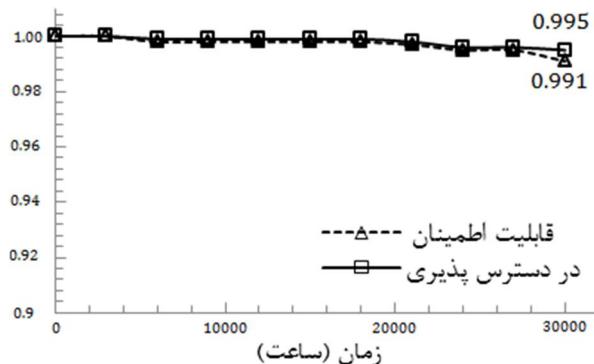
4-1- فاز اول: عمل رهایش صفحات

مهم‌ترین تجهیزات در این قسمت عبارت‌اند از:

- عملگر (انفجاری، غیر انفجاری)
- مدار الکتریکی فرمان عملگر
- دمپر (برای جذب کردن شوک ناشی از رهایش)

در این فاز تجهیزات بحرانی که شکست آن‌ها موجب شکست مجموعه می‌شود، عملگر و مدار الکتریکی فرمان می‌باشد. با توجه به عملگرهای انفجاری موجود در نرم‌افزار ویندچیل بهترین نوع عملگر دارای نرخ شکست 0/062772 دفعه شکست (در هر میلیون ساعت کارکرد) است که نرخ شکست مناسبی بوده و نیازی به عملگر انفجاری پشتیبان نیست. طی بررسی‌های انجام شده عموماً علت شکست عمل نکردن مدار الکترونیکی فرمان عملگر بوده است [12]. به همین دلیل از مدار فرمان عملگر پشتیبان از نوع افزونه جانشین یا یدک استفاده شده است. مدار فرمان عملگر که به صورت افزونه استفاده شده است دارای نرخ شکست 0/7 می‌باشد. بلاک دیاگرام طراحی شده برای این فاز در گزارش تولید شده توسط خود برنامه ویندچیل آورده شده است.

در شکل 10 نمودارهای قابلیت اطمینان و دسترس پذیری برای این فاز رسم شده است. مشاهده می‌شود که قابلیت اطمینان سیستم در مدت زمان 30000 ساعت کارکرد، بالاتر از 0/98 به دست آمده است که بر اساس تحلیل مارکوف این مقدار قابل قبول بوده و بیانگر باقی‌ماندن سیستم در همان حالت بعد از مدت زمان 30000 ساعت کارکرد است. لازم به ذکر است در صورتی که این فاز با شکست مواجه شود کل مأموریت با شکست مواجه می‌شود و این امر نشان‌دهنده اهمیت این فاز می‌باشد.



شکل 12 نمودار قابلیت اطمینان و دسترس پذیری برای فاز سه

قابلیت اطمینان سیستم برای این فاز در مدت زمان 30000 ساعت کار کرد بالاتر از 0/99 به دست آمده است و احتمال باقیماندن سیستم در همان حالت را نشان می‌دهد.

نتایج به دست آمده از تحلیل نمودارها برای فاز سوم کاملاً قابل قبول است. لازم به ذکر است که اگر این فاز با شکست مواجه شود، به علت بزرگ بودن پنل شماره یک، قسمت اعظمی از انرژی تولیدی از دست خواهد رفت و ممکن است با شکست کامل سیستم روبرو شویم.

4-4- فاز چهارم: گسترش یافتن پنل شماره یک (پنل بزرگ)

در این فاز مهم‌ترین تجهیزات عبارتند از:

- اتصال لوایی بین یوک و پنل شماره یک
- مدار الکتریکی که از طریق آن فرمان سرو تویید می‌شود.
- سروو موتور به کار رفته برای جرخاندن اتصال لوایی یوک و پنل شماره یک

نرخ شکست اتصال لوایی، مدار الکتریکی فرمان سرو و موتور سرو به کار رفته در این فاز به ترتیب برابر با 0/075 و 0/07 و 0/252326 دفعه شکست (در هر میلیون ساعت کار کرد) است. به دلیل بالا بودن نسبی نرخ شکست سرو و جبران آن سعی بر آن شده است تا مدار الکتریکی فرمان دهنده سرو دارای افزونه از نوع یدک و پشتیبان می‌باشد. اتصال لوایی به علت خاصیت ذاتی مکانیکی خود می‌باشد به طور موازن به کار رود. بلاک دیاگرام طراحی شده برای این فاز در گزارش تولید شده توسط نرم‌افزار ویندچیل آورده شده است. همان‌طور که شکل 13 مشاهده می‌کنیم، دسترس پذیری سیستم در مدت زمان 30000 ساعت کار کرد، بالاتر از 0/96 به دست آمده است که بر اساس تحلیل مارکوف، احتمال استقرار سیستم در حالت هردو عضو در حال کار می‌باشد. قابلیت اطمینان سیستم برای این فاز در مدت زمان 30000 ساعت کار کرد بالاتر از 0/95 به دست آمده است و احتمال باقیماندن سیستم در همان حالت را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده از تحلیل نمودارها برای فاز سوم کاملاً قابل قبول است.

بعد از بررسی قابلیت اطمینان و دسترس پذیری برای تک‌تک هر کدام از فازهای چهارگانه به بررسی قابلیت اطمینان و دسترس پذیری کلی سیستم صفحات خوشیدی می‌پردازیم. نمودارهای اساس داده‌های به دست آمده از نرم‌افزار ویندچیل رسم شده‌اند. با توجه به شکل 14 مشخص می‌شود دسترس پذیری کلی سیستم در مدت زمان 30000 ساعت کار کرد، بالاتر از 0/98 به دست آمده است که بر اساس تحلیل مارکوف، احتمال استقرار کل سیستم در حالت هردو عضو در حال کار می‌باشد. قابلیت اطمینان کلی

نرخ شکست اتصال لوایی، مدار الکتریکی فرمان سرو و موتور به کار رفته در این فاز به ترتیب برابر با 0/75 و 0/07 و 0/252326 دفعه شکست (در هر میلیون ساعت کار کرد) است. به دلیل بالا بودن نسبی نرخ شکست سرو و جبران آن سعی بر آن شده است تا مدار الکتریکی فرمان دهنده سرو دارای نرخ شکست پایین‌تری باشد. مانند فاز قبلی مدار الکتریکی فرمان افزونه از نوع یدک و پشتیبان است. اتصال لوایی به علت خاصیت ذاتی مکانیکی خود می‌باشد به طور موازن به کار رود. بلاک دیاگرام طراحی شده برای این فاز در گزارش تولید شده توسط نرم‌افزار ویندچیل آورده است.

شکل 11 نماینده نمودارهای قابلیت اطمینان و دسترس پذیری برای فاز دو می‌باشد. مشاهده می‌شود که عدد دسترس پذیری سیستم در مدت زمان 30000 ساعت کار کرد، بالاتر از 0/96 به دست آمده است که بر اساس تحلیل مارکوف، احتمال استقرار سیستم در حالت هردو عضو در حال کار است. قابلیت اطمینان سیستم برای این فاز در مدت زمان 30000 ساعت کار کرد بالاتر از 0/95 به دست آمده است و احتمال باقیماندن سیستم در همان حالت را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است چنانچه این فاز با شکست مواجه شود قسمتی از انرژی تولیدی را از دست خواهیم داد اما مأموریت با شکست کامل مواجه نخواهد شد.

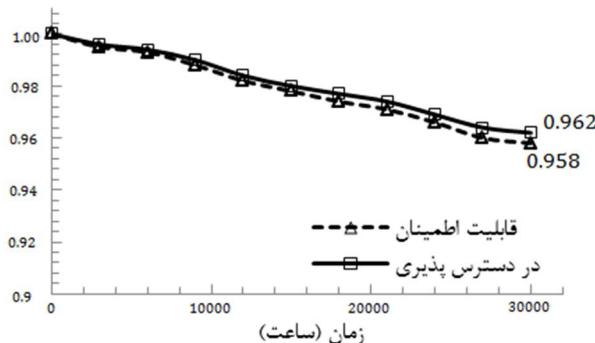
3-3-4- فاز سوم: گسترش یافتن پنل شماره یک (پنل بزرگ)

مهم‌ترین تجهیزات در این قسمت عبارتند از:

- اتصال لوایی بین دو پنل بزرگ و کوچک
- سروو موتور به کار رفته برای چرخاندن اتصال لوایی بین دو پنل
- مدار الکتریکی که از طریق آن فرمان سرو تویید می‌شود.

نرخ شکست اتصال لوایی، مدار الکتریکی فرمان سرو و موتور سرو به کار رفته در این فاز به ترتیب برابر با 1/423025 و 0/08 و 2/171732 دفعه شکست (در هر میلیون ساعت کار کرد) است. از آن جا که این پنل تأمین کننده قسمت اعظم انرژی می‌باشد این فاز بحرانی بوده و می‌باشد پارامترهای دسترس پذیری و قابلیت اطمینان بالایی داشته باشد. به همین علت تمامی تجهیزات مهم ذکر شده همگی به صورت افزونه به کار رفته‌اند. اتصالات لوایی به صورت افزونه موازن، سروو و مدار الکتریکی فرمان به صورت افزونه جانشین یا یدک به کار می‌رond. بلاک دیاگرام طراحی شده برای این فاز در گزارش تولید شده توسط نرم‌افزار ویندچیل آورده شده است.

شکل 12 نمودارهای قابلیت اطمینان و دسترس پذیری را برای فاز سه نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که دسترس پذیری سیستم در مدت زمان 30000 ساعت کار کرد، بالاتر از 0/99 به دست آمده است که بر اساس تحلیل مارکوف، احتمال استقرار سیستم در حالت هردو عضو در حال کار است.



شکل 11 نمودار قابلیت اطمینان و دسترس پذیری برای فاز دو

- در محدوده‌های نرخ شکست بالاتر (حالت‌های ۱ و ۲) در ابتدا دسترس پذیری سیستم دچار سقوط ناگهانی می‌شود و با کاهش محدوده نرخ شکست، شدت سقوط نیز کاهش پیدا می‌کند و در حالت‌های ۴ و ۵ - دسترس پذیری سیستم به حالت پایداری در طول زمان کارکرد خود می‌رسد.

2-4-4- تأثیر نرخ شکست اجزای افزونه بر روی پارامتر قابلیت اطمینان کل سیستم

همان گونه که در شکل ۱۶ دیده می‌شود تغییر محدوده‌های نرخ شکست λ_1 و λ_2 تأثیر بسزایی بر روی پارامتر قابلیت اطمینان دارد. مهم‌ترین نکات در تأثیر محدوده‌های نرخ شکست در قابلیت اطمینان را می‌توان گونه بیان کرد:

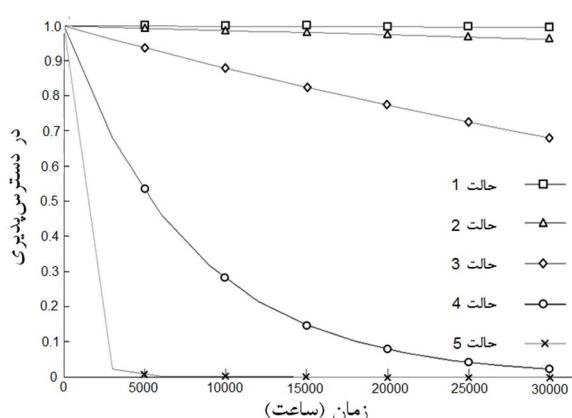
- با کاهش نرخ شکست قابلیت اطمینان سیستم افزایش می‌یابد.
- در حالت‌های ۱، ۲ و ۳ با تغییر محدوده نرخ شکست تغییرات قابل توجهی را در نمودار قابلیت اطمینان مشاهده می‌کنیم؛ اما در مرحله‌های ۴ و ۵ با تغییر محدوده نرخ شکست تغییر قابل توجهی در نمودار ایجاد نمی‌شود.

2-4-3- تأثیر نرخ شکست اجزای افزونه بر روی پارامتر ظرفیت عملکرد کل سیستم

با توجه به شکل ۱۷ سه نکته مهم در چگونگی تأثیر تغییر محدوده نرخ‌های شکست λ_1 و λ_2 بر روی پارامتر ظرفیت عملکرد وجود دارد.

جدول 2 نرخ‌های شکست در نظر گرفته شده برای کل سیستم

λ_2	λ_1	حالت
$2/56 \times 10^{-3}$	$1/28 \times 10^{-3}$	۱
$2/56 \times 10^{-4}$	$1/28 \times 10^{-4}$	۲
$2/56 \times 10^{-5}$	$1/28 \times 10^{-5}$	۳
$2/56 \times 10^{-6}$	$1/28 \times 10^{-6}$	۴
$2/56 \times 10^{-7}$	$1/28 \times 10^{-7}$	۵



شکل ۱۵ نمودار دسترس پذیری برای نرخ شکست‌های مختلف اجزای افزونه

سیستم در مدت زمان 30000 ساعت کارکرد بالاتر از ۰/۹۷ به دست آمده است و احتمال باقی‌ماندن سیستم در همان حالت را نشان می‌دهد.

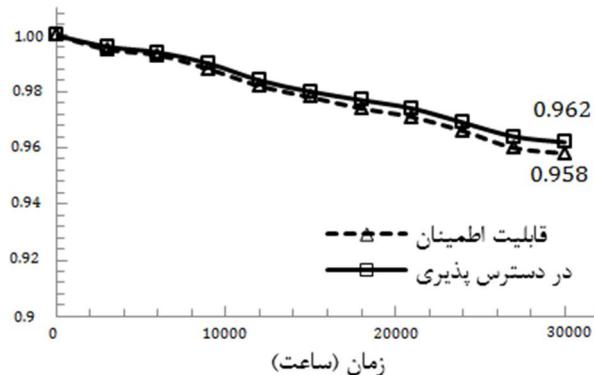
4-4- نتایج حاصل از تحلیل مارکوف برای سیستم مأموریت ویژه با در نظر گرفتن سیستمی با نمودار فضای مطابق شکل ۶ به بررسی تأثیر مقدار نرخ شکست بر روی پارامترهای مهم می‌پردازیم. در این قسمت ابتدا با تغییر محدوده‌های نرخ‌های شکست λ_1 و λ_2 به صورتی که در جدول ۲ آمده است و با استفاده از تحلیل‌های ریاضی انجام شده توسط نرم‌افزار ویندچیل به بررسی تغییرات پارامترهای مهم مانند دسترس پذیری، قابلیت اطمینان، ظرفیت عملکردی برای مدت زمان معول ۰ تا 30000 ساعت می‌پردازیم. پس از آن به بررسی تغییر این پارامترهای مهم در نقطه زمانی 30000 ساعت می‌پردازیم. در این حالت میزان تأثیر نرخ شکست را در نقطه زمانی 30000 بر روی پارامترهای مهم مشاهده می‌کنیم.

4-4-1- تأثیر نرخ شکست اجزای افزونه بر روی پارامتر دسترس پذیر کل سیستم

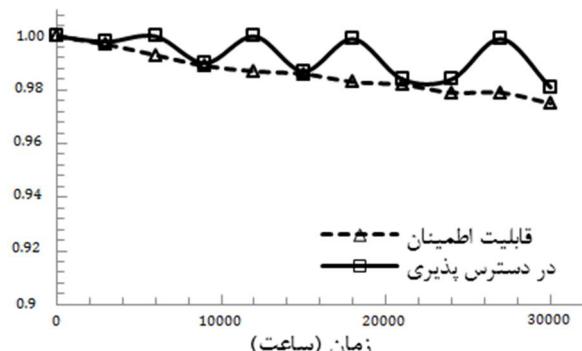
همان گونه که در شکل ۱۵ دیده می‌شود تغییر محدوده‌های نرخ شکست λ_1 و λ_2 تأثیر به سزایی بر روی پارامتر دسترس پذیری دارد. مهم‌ترین نکات در تأثیر محدوده‌های نرخ شکست دسترس پذیری را می‌توان این گونه بیان کرد:

- با کاهش نرخ شکست میزان دسترس پذیری سیستم افزایش می‌یابد.
- حالت ۵ بیش‌ترین دسترس پذیری را دارد.

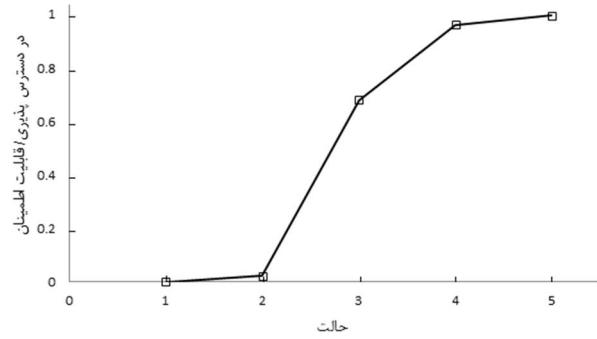
- در مراحل ۱، ۲ و ۳ با تغییر محدوده نرخ شکست تغییرات قابل توجهی را در نمودار دسترس پذیری مشاهده می‌کنیم؛ اما در مرحله‌های ۴ و ۵ با تغییر محدوده نرخ شکست تغییر قابل توجهی در نمودار ایجاد نمی‌شود.



شکل ۱۳ نمودار قابلیت اطمینان و دسترس پذیری برای فاز چهار



شکل ۱۴ نمودار قابلیت اطمینان و دسترس پذیری کلی سیستم



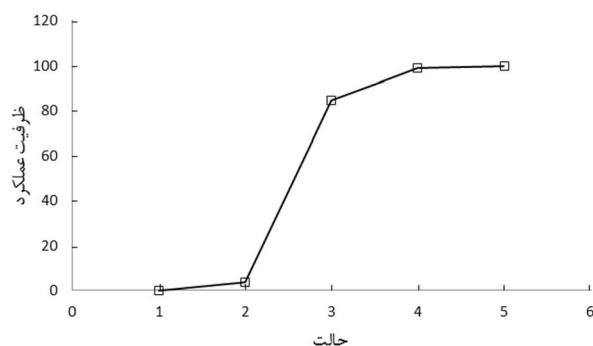
شکل 18 نمودار دسترس پذیری و قابلیت اطمینان برای نقطه زمانی 30000 ساعت کارکرد

4-4-4-4- نوخ شکست کلی سیستم در نقطه زمانی 30000 ساعت کارکرد نمودار نوخ شکست کلی سیستم در نقطه زمانی 30000 ساعت کارکرد مطابق شکل 20 می‌باشد که در مقیاس لگاریتمی رسم شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که با کاهش محدوده نوخ شکست، نوخ شکست کلی سیستم نیز کاهش می‌یابد؛ اما برای حالات شکست ۱، ۲ و ۳ نوخ شکست بسیار بالا بوده و با افزایش محدوده نوخ شکست به صورت توانی و با شیب زیاد بیشتر می‌گردد.

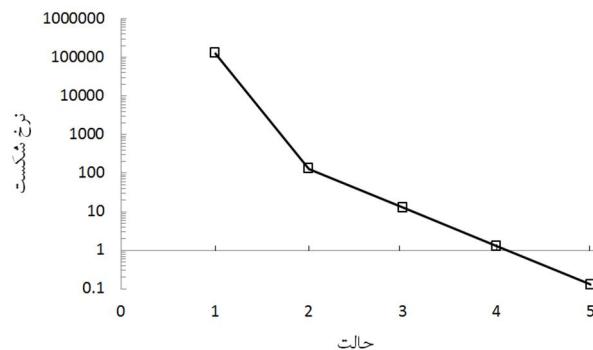
5- نتیجه‌گیری و بحث

سیستم مورد بررسی در این مقاله مکانیزم پنل خورشیدی ماهواره است. به دلیل آن که پس از پرتاب و استقرار ماهواره در مدار مورد نظر دیگر امکان دستیابی به ماهواره و تعمیر آن وجود ندارد بنابراین سیستم مورد بررسی یک سیستم ویژه مأموریت است.

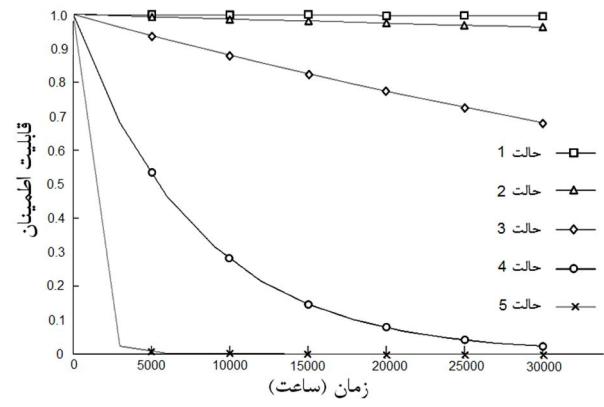
این سیستم شرایط لازم سه‌گانه مربوط به شرایط مورد نیاز برای آنالیز



شکل 19 نمودار ظرفیت عملکرد برای نقطه زمانی 30000 ساعت کارکرد



شکل 20 نوخ شکست کلی سیستم در نقطه زمانی 30000 ساعت کارکرد



شکل 16 نمودار قابلیت اطمینان برای نوخ شکست‌های متفاوت اجزای افروزه

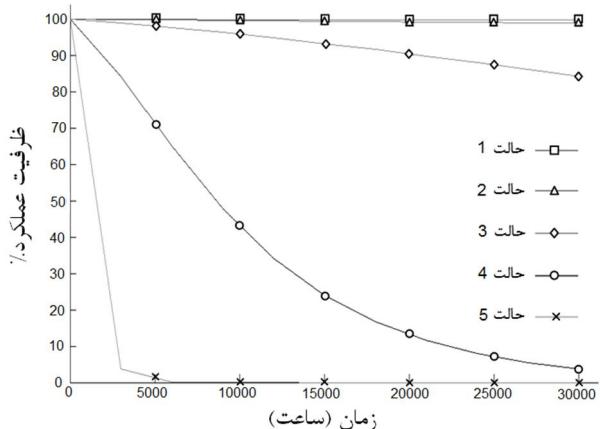
- با کاهش نوخ شکست میزان ظرفیت عملکرد سیستم افزایش می‌یابد.
- در حالات ۱، ۲ و ۳ با تغییر نوخ شکست تغییرات قابل توجهی را در نمودار ظرفیت عملکرد مشاهده می‌کنیم اما در حالات ۴ و ۵ با تغییر محدوده نوخ شکست تغییر قابل توجهی در نمودار ایجاد نمی‌شود.
- در محدوده‌های نوخ شکست بالاتر (حالات ۱ و ۲) در ابتدا ظرفیت عملکرد سیستم چار سقوط ناگهانی می‌شود و با کاهش محدوده نوخ شکست، شدت سقوط نیز کاهش پیدا می‌کند و در مراحل ۴ و ۵ ظرفیت عملکرد سیستم به حالت پایداری در طول زمان کارکرد خود می‌رسد.

4-4-4- دسترس پذیری و قابلیت اطمینان در زمان 30000 ساعت کارکرد

با توجه به شکل 18 برای حالات ۱ و ۲ دسترس پذیری و همچنین قابلیت اطمینان تقریباً برابر صفر است. در حالی که این پارامترها در زمان 30000 ساعت کارکرد برای حالات ۴ و ۵ بطور تقریبی نزدیک به یک است و اختلاف بسیار زیادی بین حالات ۲ و ۳ همچنین بین حالات ۳ و ۴ مشاهده می‌شود.

4-4-5- ظرفیت عملکرد در نقطه زمانی 30000 ساعت کارکرد

با توجه به شکل 19 برای حالات ۱ و ۲ ظرفیت عملکرد تقریباً برابر صفر است. در حالی که این پارامتر در زمان 30000 ساعت کارکرد برای حالات ۴ و ۵ بسیار نزدیک به صد می‌باشد و اختلاف بسیار زیادی بین حالات ۲ و ۳ وجود دارد.



شکل 17 نمودار ظرفیت عملکرد برای نوخ شکست‌های متفاوت اجزای افروزه

- of Technical Processes*, Vol. Volume # 6 | Part# 1, pp. 1306-1311, 2006.
- [3] R. Peng, Q. Zhai, L. Xing, J. Yang, Reliability of demand-based phased-mission systems subject to fault level coverage, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 121, No. 0, pp. 18-25, 1//, 2014.
- [4] X. Zhong, M. Ichchou, A. Saidi, Reliability assessment of complex mechatronic systems using a modified nonparametric belief propagation algorithm, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 95, No. 11, pp. 1174-1185, 11//, 2010.
- [5] C. Wang, L. Xing, G. Levitin, Propagated failure analysis for non-repairable systems considering both global and selective effects, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 99, No. 0, pp. 96-104, 3//, 2012.
- [6] Y.-c. Mo, D. Siewiorek, X.-z. Yang, Mission reliability analysis of fault-tolerant multiple-phased systems, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 93, No. 7, pp. 1036-1046, 7//, 2008.
- [7] P. Bucci, J. Kirschenbaum, L. A. Mangan, T. Aldemir, C. Smith, T. Wood, Construction of event-tree/fault-tree models from a Markov approach to dynamic system reliability, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 93, No. 11, pp. 1616-1627, 11//, 2008.
- [8] D. M. Shalev, J. Tiran, Condition-based fault tree analysis (CBFTA): A new method for improved fault tree analysis (FTA), reliability and safety calculations, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 92, No. 9, pp. 1231-1241, 9//, 2007.
- [9] Y. Jianzhong, Z. Julian, Application Research of Markov in Flight Control System Safety Analysis, *Procedia Engineering*, Vol. 17, No. 0, pp. 515-520, //, 2011.
- [10] A. D. Domínguez-García, J. G. Kassakian, J. E. Schindall, J. J. Zinchuk, An integrated methodology for the dynamic performance and reliability evaluation of fault-tolerant systems, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 93, No. 11, pp. 1628-1649, 11//, 2008.
- [11] J.-M. Lu, X.-Y. Wu, Reliability evaluation of generalized phased-mission systems with repairable components, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 121, No. 0, pp. 136-145, 1//, 2014.
- [12] Q. Lin, H. Nie, J. Ren, J. Chen, Investigation on design and reliability analysis of a new deployable and lockable mechanism, *Acta Astronautica*, Vol. 73, No. 0, pp. 183-192, 4//, 2012.
- [13] K. Bourouni, Availability assessment of a reverse osmosis plant: Comparison between Reliability Block Diagram and Fault Tree Analysis Methods, *Desalination*, Vol. 313, No. 0, pp. 66-76, 3/15/, 2013.
- [14] W. Jianing, Y. Shaoze, Modeling of the failure principle of complex mechanical systems by using Timed Places Petri nets, in *Proceeding of*, 66-70.
- [15] P. D. T. O'Connor, P. O'Connor, A. Kleynner, *Practical Reliability Engineering*: Wiley, 2012.
- [16] D. H. Stamatis, *Failure Mode and Effect Analysis: Fmea from Theory to Execution*: American Society for Quality, 2003.
- [17] D. J. Mahar, J. W. Wilbur, R. A. Center, *Fault Tree Analysis Application Guide*: The Center, 1990.

مارکوف از جمله سکون رفتار سیستم، فقدان حافظه فرآیندهای سیستم و هویت پذیری وضعیت و حالت‌های سیستم را دارا می‌باشد.

در قسمت تحلیل پیش‌بینی، سکون رفتار سیستم اثبات شده و مشخص شد که احتمال شرطی وقوع از کار افتادن عضوها برای هر دامنه زمانی معین (که در این پژوهش 30000 ساعت است) ثابت می‌ماند. این امر بدان معنی است که رفتار سیستم هنگام از کار افتادن توسط تابع توزیع نمایی با شبیه منفی توصیف می‌شود.

در رابطه با سیستم‌های ویژه مأموریت (سیستم‌های تعمیرنپذیر) در حالت ماندگار احتمال یکی از حالت‌ها برابر یک و بقیه برابر صفر است. حالتی از فضای حالت را که احتمال رخداد آن برابر یک است، حالت نهایی یا ماندگار می‌نامند.

هنگام استفاده از قطعات افزونه در طراحی می‌بایست دقت کرد که در جای مناسب از قطعات جانشین یا یدک و یا از قطعات پشتیبان استفاده کرد. در حد امکان، با توجه به مزایای قطعات جانشین یا یدک نسبت به قطعات افزونه موازی، بهتر است از قطعات افزونه جانشین یا یدک استفاده کرد.

رفتار صعود و نزول پارامترهای دسترس‌پذیری، قابلیت اطمینان و ظرفیت عملکردی، سیار شبیه به هم است. برای بهبود پارامترهای قابلیت اطمینان می‌بایست از اجزای دارای نرخ شکست پسیار پایین استفاده کرد. البته همان‌طور که قبل از نیز اشاره شد، کارکرد هر یک از این اجزاء در یک بازه زمانی معین مهم می‌باشدند. پارامترهای قابلیت اطمینان برای قطعات و عضوهای انتخابی بایستی با در نظر گرفتن مدت زمان کارکرد آن‌ها انتخاب شوند.

6- منابع

- [1] R. N. A. Roy Billinton, *Reliability Evaluation of Engineering Systems Concepts and Techniques*: Springer US, 1992.
- [2] H. L. Q. Zhao, Reliability evaluation of fault tolerant control systems with a semi-Markov FDI model, @IFAC Fault Detection, Supervision and Safety