

بررسی نقش کیفیت ساخت قطعات در تعیین قابلیت دسترسی و قابلیت اطمینان سیستم کامپیوتری کنترل پرواز یک نوع هواپیما

فریده ذهبی
کارشناس ریاضی و آمار
سازمان آموزش و پرورش خراسان
faridehzahabi@yahoo.com

علی پیروی
عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده مهندسی
ali_peiravi@yahoo.com

صادق فاضل
کارشناس ارشد مهندسی برق
سازمان صنایع هوافضا
Sadegh_fazel @ noavar.com

کلید واژه: ضریب کیفیت، قابلیت اطمینان، نرخ خرابی، MTTF

چکیده: هر چند نقش کیفیت در افزایش قابلیت اطمینان و کاهش نرخ خرابی سیستم های کامپیوتری و الکترونیکی بدیهی است، اما بررسی این مسئله به صورت کمی، جهت انتخاب قطعاتی که دارای حداقل قیمت و کیفیت مناسب باشند، از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

در این مقاله روش های سطح بندی کیفیت قطعات الکترونیکی و ارتباط ضریب کیفیت با این سطوح معرفی می شوند. سپس نتایج مدل سازی و تخمین قابلیت اطمینان سیستم کنترل پرواز نوعی هواپیما، در چندین حالت مختلف با تغییر سطح کیفیت قطعات آن، ارائه و بایکدیگر مقایسه خواهند شد. برای تعیین سطح کیفیت قطعات این سیستم، کلیه رویه های تدارک، اسناد خرید و مستندات فنی آنها بررسی شده اند. در انتها با توجه به نتایج حاصله یک پیشنهاد جهت تعیین سطح کیفیت قطعات الکترونیکی ارائه خواهد شد. برای دستیابی به این نتایج یک بسته نرم افزاری به زبان C تهیه گردید.

به کارگیری پیشنهادات و نتایج به دست آمده در این مقاله باعث بهینه سازی هزینه های طراحی، تولید و تعمیر و نگهداری سیستم های صنعتی و نظامی، و افزایش قابلیت اطمینان و آمادگی عملیاتی آنها در دوره بهره برداری خواهد شد.

۱- مقدمه

ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های الکترونیکی از اوایل دهه ۱۹۴۰ میلادی به طور همزمان توسط گروهی از محققین هوافضای آلمان به سرپرستی دکتر ورنهر فن براون و گروهی دیگر از محققین هوا فضای آمریکا آغاز گردیده و در سال ۱۹۵۰ مدون گردید. اهمیت توجه به قابلیت اطمینان تجهیزات صنعتی از آنجا آشکار می شود که عدم توجه به آن در بسیاری از صنایع می تواند عواقب بسیار خطرناکی از نظر جانی و عواقب پرهزینه ای از نظر اقتصادی، سیاسی، امنیتی و حیثیتی در برداشته باشد. به عنوان مثال می توان از حوادث چرنوبیل و

انفجار سفینه فضایی چلنجر در سال ۱۹۸۶ و انفجار سفینه فضایی کلمبیا در سال ۲۰۰۳ نام برد. در اثر این حوادث علاوه بر تلفات جانی **میلیاردها دلار** خسارات اقتصادی به بار آمد [۱].

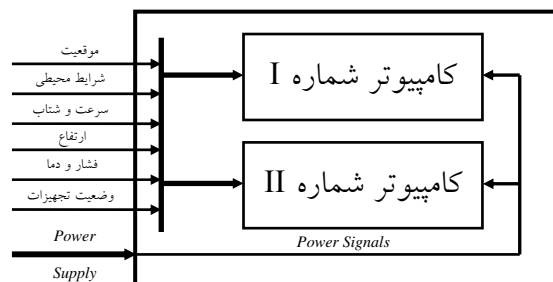
در مورد سفینه فضایی شاتل، با وجود اینکه برای تضمین قابلیت اطمینان بالا در بخش کامپیوتر پرواز آن از چهار کامپیوتر کاملاً مشابه که هر یک دارای حسگرهای مجزا بودند استفاده شده بود، اما این سفینه نیز دچار مشکل شد [۲]. بر اساس گزارش Feynman یکی از دلایل اصلی انفجار سفینه فضایی شاتل نقص در طراحی مفصل بویستر موتور راکت آن بوده است. به طوری که از هر ۲۹۰۰ پرواز ۱۲۱ مورد، موتور راکت های جامد منجر به خرابی شدند. این به معنای وجود عدم قابلیت اطمینان به میزان چهار درصد می باشد، که بسیار بالا است. موتور اصلی شاتل نیز دارای ضعف هایی بوده و در تست عملکردی به مدت ۲۵۰/۰۰۰ ثانیه ۱۶ مرتبه خطای عمده را تجربه کرده است [۳]. از دلایل مهم دیگر انفجار این سفینه قدیمی بودن تکنولوژی ساخت کامپیوترها و وجود اشکال در حسگرهای به کار رفته در آن می باشد [۳].

در ایران هر چند در سال های اخیر در دانشگاه ها و بعضی از مراکز تحقیقاتی وابسته به صنایع هوافضا و هواپیماسازی [۴-۷]، صنایع برق کشور [۸]، و سایر سازمان ها، توجه به کاربرد علم قابلیت اطمینان روزافزون شده است، اما با توجه به اینکه عامل اصلی بسیاری از حوادث ناگوار در کشور ما قابلیت اطمینان پایین و فرسوده بودن بسیاری از سیستم ها می باشد، برای رسیدن به سطح مطلوب، نیاز به توجه و انجام تحقیقات بسیار وسیع تر و گسترده تری در این زمینه می باشد.

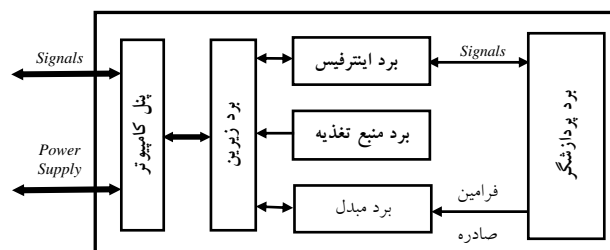
در مقایسه با سایر مقالات ارائه شده در زمینه تخمین قابلیت اطمینان سیستم ها [۴-۸]، ویژگی این مقاله در این است که در این تحقیق اولاً یک راهکار عملی برای بررسی تغییرات قابلیت اطمینان سیستم برحسب سطح کیفیت ساخت قطعات آن، به صورت کمی ارائه گردیده است. ثانیاً قابلیت دسترسی، قابلیت اطمینان و میانگین عمر مفید سیستم مورد مطالعه، با تغییر ضریب کیفیت ساخت قطعات آن، در چندین حالت مختلف (مقدار واقعی، می نیمم، متوسط و ماکزیمم) به دست آمده و با مقایسه آنها با یکدیگر، اهمیت ضریب کیفیت در افزایش قابلیت دسترسی و قابلیت اطمینان سیستم ها نشان داده شده است.

۲- شناسایی سیستم

سیستم کنترل پرواز، وظیفه ناوبری، هدایت و کنترل نوعی هواپیما را به عهده دارد. همچنین این سیستم با دریافت و ارسال سیگنال هایی، وضعیت سایر تجهیزات را مشخص کرده و در صورت بروز عیب، رخداد آن را از طریق مانیتور و پنل موجود در مجموعه به خلبان اطلاع می دهد [۱۴].



شکل (۱): سیستم کنترل پرواز



شکل (۲): ارتباط بین زیرسیستم‌ها در کامپیوتر کنترل پرواز

با توجه به اهمیت وظایفی که این سیستم به عهده دارد، مطابق شکل (۱) از دو کامپیوتر صنعتی مشابه تشکیل شده که کامپیوتر کنترل پرواز نامیده می‌شوند. نوع افزونگی به کار رفته در این سیستم، افزونگی فعال^۱ است. به طوری که اگر یکی از دو کامپیوتر خراب شود، دیگری جایگزین آن شده و وظایف آن را انجام می‌دهد.

شکل (۲) ارتباط بین زیرسیستم‌های کامپیوتر کنترل پرواز را نشان می‌دهد. وظایف اجزای تشکیل دهنده این نوع کامپیوتر صنعتی به شرح زیر می‌باشند:

- ۱- **برد پردازشگر:** انجام پردازش دیجیتال.
- ۲- **برد اینترفیس:** برقراری ارتباط با کامپیوتر دیگر، ماینور و چاپگر مجموعه.
- ۳- **برد مبدل:** دریافت و تبدیل سیگنال‌های آنالوگ به دیجیتال و بالعکس.
- ۴- **منبع تغذیه:** تولید سطوح مختلف ولتاژ DC مورد نیاز.
- ۵- **برد زیرین:** ایجاد ارتباط بین بردها و پنل کامپیوتر صنعتی به کمک یک نوع باس استاندارد.
- ۶- **پنل:** ایجاد ارتباط کامپیوتر صنعتی با خارج آن.

همچنین در بخش (۲) از مرجع [۶]، توضیحات کامل تری درباره وظایف و اجزای تشکیل دهنده کامپیوترهای کنترل پرواز این سیستم و اجزای تشکیل دهنده آن ارائه شده است. در زمینه ارتباطات بین قطعات، زیرسیستم‌ها و کامپیوترهای مجموعه کنترل پرواز تعداد زیادی نقشه وجود دارد که امکان ارائه آنها در این مقاله وجود ندارد [۱۴].

۳- معرفی کمیت‌های مورد استفاده جهت ارزیابی قابلیت دسترسی و قابلیت اطمینان

مهمترین کمیت توصیف کننده رفتار قطعات یا سیستم‌ها از دیدگاه قابلیت اطمینان عمر قطعه (T_U) و مهمترین کمیت توصیف کننده رفتار قطعات یا سیستم‌ها از دیدگاه قابلیت تعمیر زمان تا تعمیر (T_R) می‌باشند. این کمیت‌ها متغیر تصادفی بوده و به ترتیب دارای توابع توزیع احتمال $f_{T_U}(t)$ و $f_{T_R}(t)$ می‌باشند. در این مقاله تابع توزیع در نظر گرفته شده برای این متغیرها، تابع توزیع نمایی می‌باشد. مهمترین مشخصه این نوع تابع توزیع این است که در آن نرخ خرابی و نرخ تعمیر قطعات و واحدها ثابت می‌باشند. سایر توابع توصیف کننده رفتار قابلیت اطمینان سیستم‌ها و مقادیر تابع توزیع نمایی متناظر با آنها عبارتند از [۹-۱۱]:

- میانگین زمان تا خرابی ($MTTF$)^۲ و میانگین زمان تا تعمیر ($MTTR$)^۳: میانگین عمر مفید و $MTTR$ میانگین زمان تا تعمیر قطعه یا واحد مورد نظر می‌باشند.

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f_{T_U}(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (۱)$$

$$MTTR = \int_0^{\infty} t f_{T_R}(t) dt = \frac{1}{\mu} \quad (۲)$$

^۱ Active Redundancy

^۲ Mean Time To Failure (MTTF)

^۳ Mean Time To Repair (MTTR)

- میانگین زمان بین خرابی ها (MTBF)^۱: میانگین زمان تجدید دوره های کارکرد و تعمیرات قطعه یا واحد مورد نظر می باشد.

$$MTBF = E[T_U + T_R] = MTTF + MTTR \quad (۳)$$

- نرخ خرابی و نرخ تعمیر: برای زمان کوچک Δt ، $\lambda(t) \cdot \Delta t$ احتمال آن را مشخص می کند که قطعه یا سیستمی که تا زمان t سالم کار کرده است، در زمان $(t + \Delta t)$ خراب شود. همچنین برای زمان کوچک Δt ، $\mu(t) \cdot \Delta t$ احتمال آن را مشخص می کند که قطعه یا سیستمی که تا زمان t تحت تعمیر قرار داشته است، در زمان $(t + \Delta t)$ خراب شود.

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} P[\text{System Down in } (t, t + \Delta t) | \text{System Up at } t] = \lambda = \frac{1}{MTTF} = \text{نرخ خرابی} \quad (۴)$$

$$\mu(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} P[\text{System Up in } (t, t + \Delta t) | \text{System Down at } t] = \mu = \frac{1}{MTTR} = \text{نرخ تعمیر} \quad (۵)$$

- تابع قابلیت اطمینان^۲: احتمال اینکه قطعه یا سیستم موردنظر وظیفه خود را در بازه زمانی $[0, t]$ با موفقیت انجام دهد.

$$R(t) = e^{-\int \lambda(t) \cdot dt} = e^{-\lambda t} \quad (۶)$$

$$Q(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (۷)$$

- تابع قابلیت دسترسی (A)^۳ و عدم دسترسی (\bar{A}): قابلیت دسترسی احتمال آن را مشخص می کند که قطعه یا واحد مورد نظر وظیفه خود را در لحظه t با موفقیت انجام دهد. مقدار این کمیت در حالت دائمی با رابطه (۸) تعیین می شود.

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} = \frac{MTTF}{MTBF} \quad (۸)$$

$$\bar{A} = 1 - A = \frac{MTTR}{MTBF}$$

۴- ضریب کیفیت (π_Q) و ارتباط آن با سایر توابع

نرخ خرابی قطعات الکتریکی و الکترونیکی تابع عوامل زیادی بوده و با رابطه (۵) مشخص می شود [۹-۱۱].

$$\lambda = \pi_Q * f(\pi_T, \pi_E, \pi_S, \dots) \quad (۹)$$

در رابطه فوق π_Q ضریب کیفیت نامیده شده و f تابعی از ضریب شرایط محیطی (π_E) و ضریب شرایط دمایی (π_T) و ضریب استرس الکتریکی (π_S) و سایر عوامل دیگر می باشد. بنابراین نرخ خرابی قطعات با ضریب کیفیت آنها نسبت مستقیم دارد. ارتباط تابع قابلیت اطمینان و ضریب کیفیت نیز با جایگذاری رابطه (۵) در رابطه (۳) برقرار می شود.

۵- الگوریتم تخمین قابلیت اطمینان سیستم های سری، موازی و سری / موازی به روش R.B.D.

¹ Mean Time Between Failure (MTBF)

² Reliability Function

³ Availability Function

۱- تابع نرخ خرابی (λ_i) و قابلیت اطمینان ($R_i(t)$) تمام قطعات سیستم مورد نظر را با استفاده از استانداردهای موجود در این زمینه [۱۱-۱۳] و روابطه (۶) تخمین بزنید.

۲- مدل قابلیت اطمینان سیستم مورد نظر را به روش R.B.D استخراج کنید [۱۱-۱۳].

۳- در مدل قابلیت اطمینان به جای همه قطعاتی که با یکدیگر سری می باشند، یک المان جایگزین کنید. نرخ خرابی المان جایگزین به جای چند المان سری برابر مجموع نرخ خرابی آنها و قابلیت اطمینان آن برابر حاصلضرب قابلیت اطمینان آنها می باشد (روابط (۱۰) و (۱۱)).

$$\lambda_{Si}(t) = \sum_{i=1}^{n_s} \lambda_i(t) \quad (10)$$

$$R_{Si}(t) = \prod_{i=1}^{n_p} R_i(t) \quad (11)$$

همچنین به جای همه قطعاتی که با یکدیگر موازی می باشند، یک المان جایگزین کنید. قابلیت اطمینان این المان از رابطه (۱۲) به دست می آید.

$$R_{Pi}(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n_p} (1 - R_i(t)) \quad (12)$$

مرحله سوم را آن قدر ادامه دهید تا مدل قابلیت اطمینان سیستم تبدیل به یک المان شود. نرخ خرابی و قابلیت اطمینان این المان معادل نرخ خرابی و قابلیت اطمینان سیستم مورد نظر است.

۶- روش های سطح بندی کیفیت قطعات الکترونیکی و الکترونیکی

برای تعیین ضریب کیفیت، معمولاً قطعات الکترونیکی و الکترونیکی از نظر کیفیت ساخت سطح بندی شده و به هر سطح کیفیت یک ضریب کیفیت نسبت داده می شود. این اولین گام جهت بررسی کمی تاثیر کیفیت در افزایش قابلیت اطمینان سیستم ها می باشد. یکی از روش های سنتی در ایران، سطح بندی کیفیت قطعات به سه سطح کیفیت تجاری، صنعتی و نظامی می باشد. هر چند این سطوح کیفیت در ایران شناخته شده هستند، اما برای آنها هیچ گونه ضریب کیفیتی تعریف نشده است. در سطح دنیا یک استاندارد مشخص جهت تعیین سطح کیفیت قطعات، که همه کشورها آن را پذیرفته باشند، وجود نداشته و نحوه رده بندی قطعات از نظر کیفیت ساخت بستگی به شرکت سازنده آنها دارد. اما در حالت کلی روش های سطح بندی کیفیت قطعات الکترونیکی به دو دسته زیر تقسیم بندی می شوند:

۱- روش اول: در این روش همه قطعات الکترونیکی از نظر کیفیت به چند سطح تقسیم بندی می شوند. از جمله مهمترین شرکت هایی که کیفیت قطعات خود را به روش اول تقسیم بندی می کنند، شرکت AT&T می باشد. این شرکت به تمامی قطعات تولید شده توسط خود سه سطح کیفیت نسبت می دهد [۱۱].

۲- روش دوم: در این روش که روش دقیق تری می باشد قطعات مختلف دارای سطوح کیفیت مختلفی می باشند. مثلاً مقاومت ها دارای شش سطح، خازن ها دارای هفت سطح و قطعات نیمه هادی دارای پنج سطح کیفیت می باشند. صنایع تابعه وزارت دفاع آمریکا و بسیاری از کشورهای دیگر از روش دوم سطح بندی کیفیت استفاده می کنند. ما نیز جهت انجام تحقیقات خود از این روش سطح بندی کیفیت استفاده کرده ایم. در جدول (۱) تا (۴) سطوح و ضرایب کیفیت مربوط به قطعات الکترونیکی مطابق با سند MIL-HDBK-217 [۱۲] ارائه شده اند. با توجه به اینکه نرخ خرابی قطعات و ضریب کیفیت با یکدیگر نسبت مستقیم دارند و همچنین با مشاهده سطوح و ضرایب کیفیت موجود در جداول (۱) تا (۴) نتیجه می گیریم که کیفیت ساخت قطعات نقش بسیار مهمی در تعیین نرخ خرابی قطعات الکترونیکی دارد. به طور مثال با توجه به جدول (۲) نرخ خرابی یک مقاومت که دارای سطح کیفیت Lower است نسبت به همان مقاومت که دارای سطح کیفیت S است (۳۳۳/۳) برابر بیشتر می باشد. همچنین با توجه به جدول (۲) نرخ خرابی یک قطعه یک دیود فرکانس بالا که دارای سطح کیفیت JANTXV است ۱۰۰ برابر نسبت به همان قطعه که دارای سطح کیفیت Plastic است کمتر می باشد.

نکته جالب توجه در جدول (۱) این است که هر چند مدارات مجتمع دارای پنج سطح کیفیت می باشند ولی π_Q آنها بسته به تعداد و نوع تست هایی که پس از تولید روی آنها انجام می شود، تعیین می شود.

جدول (۱): سطوح و ضرایب کیفیت مربوط به مدارات مجتمع

NO.	Description	π_Q		
1	Class S Categories : 1- Procured in full accordance with MIL-M-38510 , Class S requirements. 2- Procured in full accordance with MIL-I-38535 and Appendix B thereto (Class U). 3- Hybrids : (Procured to Class S requirements (Quality Level K) of MIL-H-38594.	0.25		
2	Class B Categories : 1- Procured in full accordance with MIL-M-38510 , Class B requirements. 2- Procured in full accordance with MIL-I-38535, (Class Q). 3- Hybrids : (Procured to Class B requirements (Quality Level H) of MIL-H-38534.	1.0		
3	Class B-1 Categories : Fully Compliant with all requirements of paragraph 1.2.1 of MIL-STD-883 and procured to a MIL drawing, DESC drawing or other government approved documentation. (Does not include hybrids) for hybrids. use custom screening section below.	2.0		
4 (for Custom Screen Test in accordance with MIL-STD-883)	Group	MIL-STD-883 Screen/Test	factor	$\sum factor$
	1	TM 1010 (Temperature Cycle, Cond B Minimum) and TM 2001 (Constant Acceleration, Cond B Minimum) and TM 5004 (or 5008 for Hybrids) (Final Electricals @ Temp Extremes) and TM 1014 (Seal Test , Cond A, B ,or C) and TM 2009 (External Visual)	50	
	2	TM 1010 (Temperature Cycle , Cond B) and TM 2001 (Constant Acceleration , Cond B) TM 5004 (or 5008 for Hybrids) (Final Electricals @ Temp Extremes) and TM 1014 (Seal Test , Cond A, B ,or C) and TM 2009 (External Visual)	37	
	3	Pre-Burn in Electricals TM 1015 (Burn-in B-Level /S – Level) an TM 5004(or 5008 for Hybrids) (Post Burn-in Electricals @ Temp Extremes)	30 (B Level) 36 (S Level)	
	4	TM 2020 pind (Particle impact Noise Detection)	11	
	5	TM 5004 (or 5008 for Hybrids) (Final Electricals @ Temp Extremes)	11	
	6	TM 2010 / 17 (internal Visual)	7	
	7	TM 1014 (Seal Test , Cond A , B or C)	7	
	8	TM 2012 (Radiography)	7	
	9	TM 2009 (External Visual)	7	
	10	TM 5007/5013 (GaAs) (Water Acceptance)	1	
11	TM 2023 (None- Destructive Bond Pull)	1		
Examples: 1- Mfg. Performs Group 1 test and Class B Bun-in: $\pi_Q = 2 + \frac{87}{50+30} = 3.1$ 2- Mfg. Performs internal visual test, seat test and final electrical test: $\pi_Q = 2 + \frac{87}{7+7+11} = 5.5$				
5	Other Commercial or Unknown Screening Levels	10		

جدول (۲): سطوح و ضرایب کیفیت مربوط به مقاومت ها و خازن ها

Quality Levels	Established Reliability Style				MIL– SPEC	Lower
	S	R	P	M		
π_Q	0.030	0.10	0.30	1.0	3.0	0.30

جدول (۳): سطوح و ضرایب کیفیت مربوط به نیمه هادی ها

No.	Part Type	Quality Levels				
		JANTXV	JANTX	JAN	LOWER	PLASTIC
1	Non-RF Devices/Opto-Electronics	0.7	1	2.4	5.5	8
2	High Freq Diodes	0.5	1.0	5.0	25	50
3	Schottky Diodes	0.5	1.0	1.8	2.5	-----
4	RF Transistors	0.5		2	5.0	-----

جدول (۴): سطوح و ضرایب کیفیت سایر قطعات الکترونیکی و الکترونیکی

No.	Part Type	Quality Levels		
		Established Reliability	MIL-SPEC	Non-MIL
1	Inductive Devices	0.25	1.0	10
2	Rotating Devices	N/A	N/A	N/A
3	Relays, Mechanical	0.60	3.0	9.0
4	Relays, Solid State and Time Delay	N/A	1.0	4
5	Switches, Toggle, Pushbutton, Sensitive	N/A	1.0	20
6	Switches, Rotary Water	N/A	1.0	50
7	Switches, Thumbwheel	N/A	1.0	10
8	Circuit Breakers, Thermal	N/A	1.0	8.4
9	Connectors	N/A	1.0	2.0
10	Interconnection Assemblies	N/A	1.0	2.0
11	Meters, Panel	N/A	1.0	3.4
12	Quartz Crystals	N/A	1.0	2.1
13	Lamps, incandescent	N/A	N/A	N/A
14	Electronic Filters	N/A	1.0	2.9

۷- مدل سازی

جهت ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌ها می‌توان از دو روش **تحلیلی** و **شبیه سازی کامپیوتری** استفاده کرد. در روش‌های تحلیلی عمر قطعه، یا سیستم مورد نظر توسط توابع ریاضی تحلیلی توصیف شده و سایر توابع قابلیت اطمینان با روابط موجود به دست می‌آیند. در مرجع [۶] الگوریتم شبیه سازی و تخمین قابلیت اطمینان و در مرجع [۴] الگوریتم شبیه سازی و تخمین MTTR سیستم‌ها به روش مونت کارلو ارائه شده است. برای انجام مطالعات حاضر، سیستم مورد مطالعه از سه دیدگاه مختلف و با سه روش متفاوت به شرح زیر مدل سازی شده است:

۱- قابلیت اطمینان: ترکیبی از روش‌های تحلیلی R.B.D.^۱ و فضای حالت

۲- قابلیت تعمیر: به روش شبیه سازی مونت کارلو

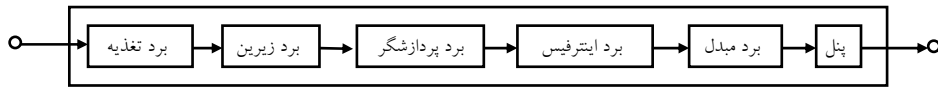
۳- قابلیت دسترسی: با استفاده از روش فضای حالت

از دیدگاه قابلیت اطمینان هرگاه در ساختار یک سیستم از هیچ نوع افزونگی استفاده نشده و خرابی هر یک از واحدهای تشکیل دهنده آن منجر به خرابی سیستم شود، مدل قابلیت اطمینان آن سیستم سری است. و چنانچه در یک سیستم جهت انجام ماموریتی خاص بیش از یک واحد وجود داشته باشد به طوری که سالم بودن تنها یکی از آنها برای انجام آن ماموریت کافی باشد، مدل قابلیت اطمینان آن موازی است [۹-۱۱]. با مطالعه اسناد و کاتالوگ‌های موجود در زمینه شناسایی کامپیوترهای کنترل پرواز، مشخص گردید که خرابی هر یک از قطعات و زیرسیستم‌های آنها، باعث می‌شود که آنها نتوانند وظیفه خود را انجام دهند [۱۴]. بنابراین مدل قابلیت کامپیوترهای کنترل پرواز سری و مطابق شکل (۳) است.

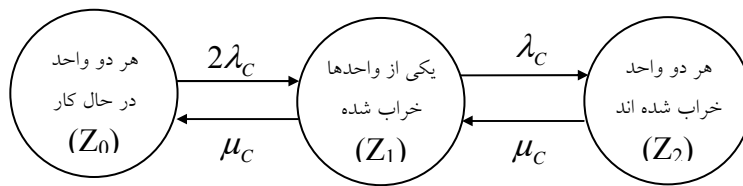
^۱ Reliability Block Diagram (R.B.D.)

اما با توجه به اینکه ماموریت سیستم کنترل پرواز با سالم بودن تنها یکی از دو کامپیوتر کنترل پرواز به انجام می‌رسد [۱۴]، و از طرف دیگر کامپیوترهای کنترل پرواز سیستم‌های تعمیر پذیری می‌باشند، بنابراین برای مدل سازی قابلیت اطمینان و قابلیت دسترسی آنها مطابق شکل (۴) از مدل فضای حالت استفاده گردید.

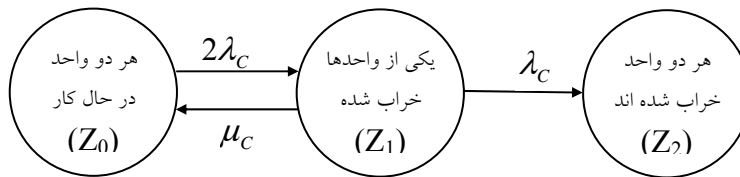
در شکل (۴) مدل فضای حالت سیستم دارای افزونگی یک از دو، در سه حالت مختلف رسم شده است. در این شکل‌ها فضای حالت سیستم از سه حالت $\{0,1,2\}$ تشکیل شده و شماره حالت برابر تعداد واحدهایی است که در آن حالت کار می‌کنند. همچنین λ_C و μ_C به ترتیب نرخ خرابی و نرخ تعمیر کامپیوترهای کنترل پرواز می‌باشند.



شکل (۳): مدل قابلیت اطمینان کامپیوتر شماره I و II



(الف) با فرض امکان وجود تعمیر سیستم کنترل پرواز پس از خرابی هر دو کامپیوتر کنترل پرواز



(ب) با فرض عدم امکان وجود تعمیر سیستم کنترل پرواز پس از خرابی هر دو کامپیوتر کنترل پرواز

شکل (۴): نمودار فضای حالت سیستم کنترل پرواز دارای افزونگی یک از دو

متشکل از دو کامپیوتر کنترل پرواز مشابه

در شکل (۴-الف) مدل فضای حالت سیستم با فرض امکان وجود تعمیر سیستم کنترل پرواز پس از خرابی هر دو کامپیوتر کنترل پرواز ارائه شده است. از این مدل جهت تخمین قابلیت دسترسی سیستم کنترل پرواز استفاده می‌شود. در شکل (۴-ب) مدل فضای حالت با فرض عدم امکان وجود تعمیر سیستم کنترل پرواز پس از خرابی هر دو کامپیوتر کنترل پرواز رسم شده است. از این مدل جهت تخمین MTTF و قابلیت اطمینان سیستم کنترل پرواز استفاده می‌شود.

در مرجع [۹] روش‌های تخمین قابلیت اطمینان، MTTF و قابلیت دسترسی سیستم کنترل پرواز هوابیما، به کمک این مدل‌ها تشریح شده است. به طور خلاصه این کمیت‌ها با روابط (۱۳) تا (۱۵) تعیین می‌شوند [۹].

$$MTTF_S = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{(3\lambda_C + \mu_C)}{2\lambda_C^2} \quad (13)$$

$$A_S = \frac{\mu_C(\mu_C + 2\lambda_C)}{\mu_C^2 + 2\lambda_C(\mu_C + \lambda_C)} \quad (14)$$

$$R_S(t) = e^{-\frac{2\lambda_C^2}{(3\lambda_C + \mu_C)}t} \quad (15)$$

۸- ارائه نتایج

برای تخمین و مقایسه قابلیت دسترسی، قابلیت اطمینان و MTTF سیستم کنترل پرواز و اجزای تشکیل دهنده آن، کمیت های مذکور در چهار حالت مختلف تخمین زده شدند. در حالت اول ضریب کیفیت قطعات برابر مقدار واقعی آنها در نظر گرفته شد. ولی در مراحل بعدی ضریب کیفیت قطعات برابر مقدار می نیمم، متوسط و ماکزیمم در نظر گرفته شدند. بعضی از نتایج به دست آمده که در این بخش ارائه می شوند عبارتند از:

الف- نرخ خرابی قطعات: با توجه به اینکه سیستم کنترل پرواز از حدود دو هزار قطعه تشکیل شده است، امکان ارائه مقادیر نرخ خرابی کلیه قطعات آن در این مقاله میسر نیست. لذا فقط مقادیر مینیمم، میانگین و ماکزیمم نرخ خرابی انواع مختلف قطعات آن در جدول (۵) ارائه می شوند [۱۱-۱۳].

ب- نرخ خرابی، $MTTF_C$ و احتمال عدم دسترسی به کامپیوترهای کنترل پرواز: در جدول (۶) نتایج تخمین نرخ خرابی زیرسیستم های موجود در یک کامپیوتر کنترل پرواز، در جدول (۷) نتایج مربوط به تخمین نرخ خرابی و $MTTF$ کامپیوتر کنترل پرواز و در جدول (۸) نتایج مربوط به $MTTF$ کامپیوتر کنترل پرواز ارائه شده اند. نتایج موجود در جدول (۸) تاثیر کیفیت قطعات را در افزایش قابلیت اطمینان و کاهش نرخ خرابی سیستم های الکترونیکی نشان می دهند. به طور مثال $MTTF$ سیستم کنترل پرواز هنگامی که ضریب کیفیت آن مینیمم باشد، 18.1 برابر بیشتر از حالتی است که ضریب کیفیت قطعات آن ماکزیمم باشد.

پ- نرخ تعمیر و $MTTR_C$ کامپیوترهای کنترل پرواز: در مرجع [۴] نحوه پیشگویی این کمیت ها تشریح و نتایج به دست آمده در مورد کامپیوترهای کنترل پرواز ارائه شده است. این نتایج به شرح زیر می باشند:

$$MTTR_C = \frac{1}{\mu_C} = 3.940 \text{ (Hours)}$$

جدول (۵): حدود نرخ خرابی قطعات کامپیوتر کنترل پرواز (Failure/10⁶ Hours)

ردیف	نام المان	ماکزیمم	میانگین	می نیمم
۱	مدارات مجتمع	8.52	0.5003	0.082
۲	نیمه هادی	8.91	1.932	0.135
۳	مقاومت ها	4.243	0.971	0.201
۴	خازن ها	3.233	1.169	0.163
۵	کانکتورها	1.644	0.3828	0.19
۶	بردهای مدار چاپی	13.363	5.2435	0.1517
۷	سلف ها و ترانس ها	1.4	0.783	0.166
۸	سایر قطعات	4.7	0.1921	0.00027

جدول (۶): نرخ خرابی زیرسیستم های کامپیوتر کنترل پرواز (Failure/10⁶ Hours)

No.	نام زیر سیستم	ضریب کیفیت (π_Q)			
		مقدار واقعی	Min.	Medium	Max.
۱	برد پردازشگر	81.3739	4.8989	17.2728	104.1563
۲	برد ارتباط سریال	34.015	2.2962	18.9517	69.7535
۳	برد مبدل	84.0891	2.3355	20.2722	86.2431
۴	برد منبع تغذیه	164.1522	11.0751	67.4139	461.3059
۵	برد زیرین	21.3424	5.2292	9.2781	46.845
۶	پنل	21.6618	17.7173	18.1398	21.9128

جدول (۷): نرخ خرابی و MTTF یک کامپیوتر کنترل پرواز

کمیت	ضریب کیفیت (π_Q)			
	مقدار واقعی	Min.	Medium	Max.
نرخ خرابی (Failure/10 ⁶ Hours)	406.6344	43.5502	151.3206	788.2256
MTTF _C (Hours)	2459.20	22962.00	6608.5	1268.7
\bar{A}_C (Percent)	0.16	0.02	0.06	0.31

جدول (۸): نرخ خرابی، MTTF_S و قابلیت دسترسی سیستم کنترل پرواز

کمیت	ضریب کیفیت (π_Q)			
	مقدار واقعی	Min.	Medium	Max.
λ_S (Failure/10 ⁶ Hours)	1.2967	0.015	0.18	4.8527
MTTF _S (Hours)	7.7116 e +005	6.6945 e +007	5.5521 e +006	2.0607 e +005
\bar{A}_C (Percent)	0.00051	0.00001	0.00007	0.00192

ت- نرخ خرابی، MTTF_S و احتمال عدم دسترسی به سیستم کنترل پرواز: این کمیت ها به کمک روابط (۱۳) و (۱۴) و داده های موجود در جدول (۶) محاسبه شده و در جدول (۷) ارائه شده اند.

ث- توابع قابلیت اطمینان و چگالی تجمعی احتمال خرابی: در مورد کامپیوترهای کنترل پرواز، این توابع را می توان با استفاده از نتایج به دست آمده در جدول (۷) و معادله (۳) در چهار حالت مختلف به دست آورد. به طور مثال این توابع در حالتی که ضریب کیفیت قطعات برابر مقدار واقعی آن می باشد، با رابطه (۱۶) تعیین می شود.

$$R_C(t) = 1 - Q_C(t) = \text{Exp}(-0.0004066344t) \quad (16)$$

تابع قابلیت اطمینان سیستم کنترل پرواز با جایگزینی نتایج به دست آمده در جدول (۸) در رابطه (۱۵) به دست می آید. به طور مثال هنگامی که ضریب کیفیت برابر مقدار واقعی آن باشد، این کمیت با روابط (۱۷) تعیین می شوند.

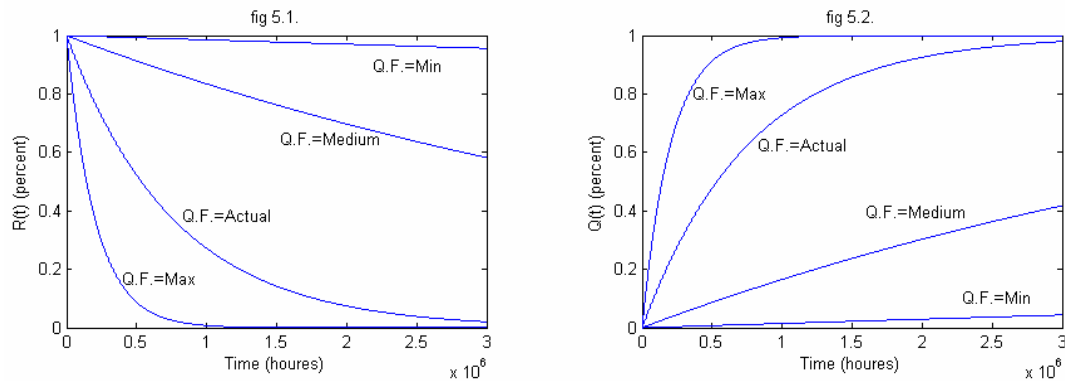
$$R_S(t) = \exp(-0.00000129 t) \quad (17)$$

در شکل (۵) توابع قابلیت اطمینان و چگالی تجمعی احتمال خرابی برای ۳۰۰۰۰۰۰ ساعت کار سیستم کنترل پرواز، هنگامی که ضریب کیفیت قطعات این سیستم برابر Min، مقدار واقعی، متوسط و ماکزیمم آن می باشد، رسم شده اند. این شکل تاثیر زیاد شرایط محیطی را در تعیین قابلیت اطمینان و احتمال خرابی این سیستم نشان می دهد. مثلا قابلیت اطمینان این سیستم پس از ۳۰۰۰۰۰۰ ساعت کار، هنگامی که ضریب کیفیت قطعات برابر مقدار ماکزیمم آن باشد (23.33%)، هنگامی که ضریب کیفیت قطعات برابر مقدار واقعی آن باشد (67.78%)، هنگامی که ضریب کیفیت قطعات برابر مقدار متوسط آن باشد (94.74%) و هنگامی که ضریب کیفیت قطعات برابر مقدار می نیمم آن باشد (99.55%) است.

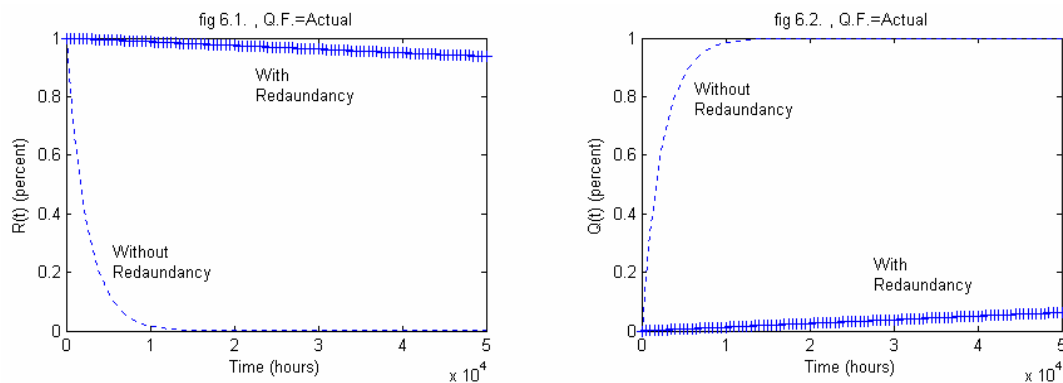
ج- تاثیر افزونگی در رشد قابلیت اطمینان سیستم: در شکل (۶) تاثیر استفاده از یک کامپیوتر افزون در رشد قابلیت اطمینان و کاهش احتمال خرابی سیستم کنترل پرواز، در حالتی که ضریب کیفیت ساخت قطعات آن برابر مقدار واقعی می باشند، نشان داده شده است. به طور مثال قابلیت اطمینان این سیستم پس از ۲۵۰۰ ساعت کار، هنگامی که ضریب کیفیت ساخت قطعات آن برابر مقدار واقعی باشد به میزان (78.36%) بیشتر و احتمال خرابی آن به همین میزان کمتر از حالتی است که در آن افزونگی موازی وجود نداشته باشد. همچنین در این حالت پس از استفاده از افزونگی میزان احتمال عدم دسترسی به سیستم کنترل پرواز نسبت به حالتی که در آن از افزونگی استفاده نشود، حدودا به میزان 314 برابر کاهش یافته است.

۹- ارائه پیشنهاد

هنوز در ایران سند مشخصی جهت تعیین نرخ خرابی قطعات الکترونیکی و ضریب کیفیت متناظر با آنها وجود نداشته و در این زمینه از منابع و استانداردهای خارجی استفاده می‌شود. با توجه به اینکه بخش قابل توجهی از قطعات مورد استفاده در تجهیزات صنعتی و نظامی ایران مطابق با این استانداردها تولید نمی‌شوند، به کمک این استانداردها نمی‌توان با دقت نرخ خرابی و ضریب کیفیت قطعات، و در نتیجه قابلیت اطمینان سیستم‌ها را تخمین زد. بنابراین با توجه به اهمیت وجود داده‌های صحیح نرخ خرابی قطعات، در تعیین عمر مفید و قابلیت اطمینان سیستم‌ها، پیشنهاد می‌شود:



شکل (۵): توابع قابلیت اطمینان و چگالی تجمعی احتمال خرابی سیستم کنترل پرواز برحسب ضریب کیفیت قطعات



(منحنی‌های پیوسته: وجود یک افزونگی موازی، منحنی‌های گسسته: بدون افزونگی)

شکل (۶): تاثیر کاربرد افزونگی موازی در رشد قابلیت اطمینان و کاهش احتمال خرابی سیستم کنترل پرواز

۱- سند مشخصی جهت تعیین نرخ خرابی قطعات الکترونیکی مورد استفاده در تجهیزات صنعتی و نظامی ایران تدوین شده و در آن سطح و ضریب کیفیت قطعات تعریف و تعیین شود.

۲- در این سند دقیقاً مشخص شود که هر قطعه برای داشتن نرخ خرابی، سطح و ضریب کیفیت خاص، باید چه مشخصاتی داشته و چه تست‌هایی را پشت سر بگذارد.

تدوین چنین سندی باعث می‌شود بتوانیم سیستم‌هایی که دارای قابلیت اطمینان مورد نظر باشند را تولید کرده و هزینه‌های طراحی، تولید، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری آنها را بهینه‌سازی کنیم.

۱۰- نتیجه گیری



جهت ارزیابی کمی کیفیت سیستم‌ها، معمولاً قطعات الکتریکی و الکترونیکی از نظر کیفیت ساخت سطح بندی شده و به هر سطح کیفیت یک ضریب کیفیت نسبت داده می‌شود. هر چه کیفیت ساخت یک قطعه بیشتر باشد ضریب کیفیت و نرخ خرابی آن کمتر و قابلیت اطمینان آن بیشتر خواهد بود.

برای تعیین سطح کیفیت قطعات سیستم مورد مطالعه کلیه رویه‌های تدارک، اسناد خرید و مستندات فنی آنها بررسی گردید. نتایج تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهند که کیفیت ساخت قطعات تاثیر زیادی در افزایش میانگین عمر مفید و قابلیت اطمینان و کاهش نرخ خرابی سیستم‌ها دارد. به طوری که انتخاب قطعات با کیفیت مناسب می‌تواند به میزان قابل توجهی عمر مفید سیستم‌های الکترونیکی را افزایش داده و هزینه‌های تعمیر و نگهداری آنها را کاهش دهد. میزان افزایش قابلیت اطمینان در سیستم‌های مختلف متفاوت بوده و باید تخمین زده شود.

۱۱- تقدیر و تشکر

در اینجا بر خود لازم می‌دانیم از حمایت‌های مسئولین محترم صنایع ثامن الائمه و سازمان صنایع هوافضا در زمینه اجرای این پروژه تحقیقاتی تقدیر و تشکر نماییم.

۱۲- مراجع

- [1] Elsayed A. Elsayed, "Reliability Engineering", Adison wesley longnan Inc., Copyright 1996.
- [2] J. R. Skarloff, "Redundancy Management Techniques for space shuttle computers", IBM J. RES. DEVELOP, January 1976.
- [3] Richard P. Feynman, "Personal Observation on the reliability of the shuttle", <http://www.freerepublic.com/focus/news/834070/posts>.
- [۴] فاضل، صادق و پیروی، علی، " تخمین MTTR سیستم‌های کامپیوتری به روش شبیه سازی مونت کارلو و مقایسه آن با روش‌های تحلیلی"، سیزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، مجموعه مقالات کامپیوتر، MAY 2005.
- [۵] فاضل، صادق و پیروی، علی، " بررسی تاثیر مجتمع سازی سیستم‌های الکترونیکی در رشد شاخص‌های قابلیت اطمینان، تعمیرپذیری و قابلیت دسترسی آنها"، سیزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، مجموعه مقالات الکترونیک، MAY 2005.
- [۶] پیروی، علی و فاضل، صادق، "تخمین میانگین عمر مفید یک نوع کامپیوتر صنعتی به روش مونت کارلو و ارائه راهکار جهت افزایش آن"، دوازدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، مجموعه مقالات کامپیوتر، MAY 2004.
- [۷] فاضل، صادق، " تخمین قابلیت اطمینان یک سیستم صنعتی خاص به روش شبیه سازی مونت کارلو"، پایان نامه کارشناسی ارشد برق، دانشگاه فردوسی مشهد، دی ۱۳۸۰.
- [۸] پیروی، علی و شریف یزدی، امیر، " ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه تولید و انتقال برق شمال خراسان"، نشریه دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، سال ۲۸، سال ۱۱، سال ۱۳۷۵.
- [9] A. Birolini, "Reliability Engineering, Theory and Practice", Springer, 1999.
- [10] Endrenyi, "Reliability Modeling in Electric Power Systems", John wiley & sons, 1978.
- [11] David J. Klinger and Yoshinao Nakada and Maria A. Menendez, " AT&T Reliability Manual", Copyright 1990 by AT&T.
- [12] MIL-HDBK-217F, "Reliability Prediction of Electronic Equipment", Notice2, D.O.D., February 1995.
- [13] William Denson, William Crowel, Paul Jaworski, David Mahar, "EPRD-97: Electronic Parts Reliability Data", D.O.D., Reliability Analysis Center(RAC), 1997.

[۱۴] اسناد و کاتالوگ‌های موجود در زمینه شناسایی سیستم مورد مطالعه و قطعات آن.