

مدل سازی سیستم تغذیه آب خنک کننده پالایشگاه به روش دیاگرام های بلوکی

محمود شهرخی^۱، معصومه عزیزی نطفه^۲

^۱ استادیار، دانشگاه کردستان، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی صنایع

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، مرکز آموزش عالی علمی، کاربردی جهاد دانشگاهی کرمانشاه

نام نویسنده مسئول:

محمود شهرخی

چکیده

با پیچیده شدن سیستم های مهندسی و افزایش اجزای آنها بررسی نحوه عملکرد آنها با روش های متعارف امری غیرممکن است. از طرفی از کار افتادن سیستم های پشتیبانی حساس در تاسیسات صنعتی موجب اختلال در سرویس دهی آنها شده و موجب ایجاد حوادث و زیان های هنگفت می شود. در این مقاله به مدل سازی سیستم تغذیه آب خنک کننده پالایشگاه، با استفاده از بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان می-پردازیم و تفاوت دو طرح پیشنهادی برای آنها با پیکربندی سه پمپه و چهار پمپه از نظر قابلیت اطمینان ارزیابی می شود. روش به کار رفته در این مقاله می تواند در ارزیابی و بهینه سازی قابلیت اطمینان بسیاری از سیستم های صنعتی به کار رود. **واژگان کلیدی:** قابلیت اطمینان (RBD)- مدل دیاگرام بلوکی - شکست - افزونگی

مقدمه

استفاده از روش‌های علمی برای ارزیابی قابلیت اطمینان عملکرد سیستم‌ها و پیش‌بینی نحوه رفتار آنها امری ضروری و حیاتی است. یکی از موثرترین این روش‌ها استفاده از بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان^۱ است. این مدل یک نمایش گرافیکی است که برای محاسبه قابلیت اطمینان یک سیستم بزرگ بر اساس قابلیت اطمینان اجزای تشکیل دهنده آن به کار می‌رود. در این مدل هر یک از اجزای سیستم به صورت یک بلوک در نظر گرفته می‌شوند. در کشور ایران، استفاده این مدل جهت ارزیابی قابلیت اطمینان، محدود بوده و این مقاله بیانگر نتایج یکی از معدود پژوهش‌های کاربردی انجام شده در این زمینه می‌باشد که در مورد قابلیت اطمینان سیستم تغذیه آب سیستم‌های خنک‌کننده پالایشگاه استفاده شده است و روش به کار رفته می‌تواند برای سایر صنایع نیز به کار رود.

۱- پیشینه پژوهش

کاربرد قابلیت اطمینان در کنار برخی دیگر از معیارهای کیفیت همچون دسترس پذیری، تعمیرپذیری و ایمنی در بیان کیفیت کاربردی یک محصول است. استفاده از بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان یکی از روش‌های مرسوم برای مدل‌سازی و محاسبه قابلیت اطمینان سیستم‌های صنعتی است. به طور نمونه حمزه حاجیان حسین آبادی روش RBD را جهت مدل‌سازی ساختارهای گوناگون تجهیزات اتوماسیون پست برق به کار برده است [1]. شهناز مهدوی و همکاران، با استفاده از روش RBD قابلیت اطمینان جایگاه سوخت رسانی CNG محاسبه نموده است [2]. لیسنیانسکی^۲ مدل RBD کلاسیک را برای سیستم‌های چندحالتی قابل تعمیر توسعه داده است [3]، همچنین هایتائو^۳ و همکاران از روش RBD برای محاسبه میانگین احتمال شکست در ابزارهای کنترل استفاده نموده است [4]. روش ارائه شده توسط بالبیر^۴ می‌تواند برای انجام تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌های سری- موازی و پل با در نظر گرفتن خطاهای انسانی بحرانی و عادی به کار رود که در آن از نمودارهای RBD استفاده شده است [5]. باوزکات^۵ میانگین زمان خرابی سیستم‌های تعمیرپذیر را با ساده‌سازی دیاگرام بلوکی به دست آورد [6]. دیلین و همکاران^۶ قابلیت اطمینان را در یک سیستم مشابه با نرخ شکست‌های ثابت و متغیر توسط دو روش دیاگرام بلوکی و مدل مارکوف محاسبه و سپس نتایج به دست آمده از این دو روش را با هم مقایسه نمود [7].

از دیدگاه محاسباتی نیز پژوهش‌های فراوانی صورت گرفته است که در ادامه خلاصه کوتاهی از جدیدترین آن‌ها ارائه می‌شود. چین‌چیا^۷ یک مسئله حداکثرسازی جریان را در یک شبکه با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان اجزاء آن حل نموده است [8]. یی^۸ و همکارانش کارایی سیستم را مد نظر قرار داده و یک مسئله بهینه‌سازی قابلیت اطمینان را با در نظر گرفتن سطوح مختلف قابلیت اطمینان برای هر یک از قطعات به صورتی در نظر گرفته است که کارایی سیستم کل تابعی از میزان خرابی هر یک قطعات باشد [9]. روی^۹ و همکارانش همین مسئله را با توسعه یک الگوریتم بهینه‌سازی قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن امکان تسهیم کارایی و با هدف حداقل کردن نقش سیستم کلی بهبود داده‌اند [10]. بسیاری از دانشمندان از توزیع‌های احتمالی و روش‌های فراابتکاری استفاده کرده‌اند. به طور مثال مرجع [11] با در نظر گرفتن یک توزیع باینومیل همبسته^{۱۰} و روش فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید روشی را برای بهینه‌سازی افزونگی در شبکه‌های کامپیوتری ارائه کرده است.

بررسی‌های صورت گرفته بر روی مطالعات انجام شده در داخل و خارج از کشور نشان می‌دهد که هیچگونه مطالعه‌ای با استفاده از این تکنیک جهت مدل‌سازی سیستم خنک‌کننده منتشر نشده است.

۲- روش پژوهش

سیستم خنک‌کننده از قسمت‌های اصلی مختلفی تشکیل شده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. سیستم تغذیه آب (Feed-Water System)

۲. سیستم ذخیره تغذیه آب (Feed-Water Storage System)

¹ Reliability Block Diagram RBD

² Lisnianski

³ Haitao, et al

⁴ Balbir

⁵ Buzacott

⁶ Dhillon, et al

⁷ J. Chin-Chia

⁸ L. Y. Yi, et al

⁹ P. Rui, et al

¹⁰ Correlated binomial distribution

۳. سیستم فشار قوی (HP Section)

۴. سیستم فشار ضعیف (LP Section)

۵. سیستم متعادل سازی مقدار مواد شیمیایی (Chemical Dosing System)

در این میان سیستم تغذیه آب (FWS) از اهمیت خاصی برخوردار است که خرابی آن به توقف عملکرد سیستم خنک کننده منجر شده و ممکن است به خسارت گسترده به آن منتهی شود. پس از پیشنهاد تغییر در طراحی FWS که دربرگیرنده کاهش قطعات اصلی و بخصوص پمپ تغذیه آب (با قیمت تقریبی دویست و پنجاه هزار دلار در سال ۱۳۹۵) بود، لزوم بررسی اثر این تغییر بر قابلیت اطمینان سیستم خنک کننده آشکار شد. در این پژوهش، با توجه به نرخ شکست و قابلیت اطمینان هر یک از اجزاء FWS، سهم هر یک از آن‌ها در شکست (خرابی) سیستم FWS مشخص گردید. از آنجا که تنها تعداد معدودی از قطعات سیستم FWS نقش اساسی در عملکرد آن دارند (به نحوی که خرابی آن‌ها می‌تواند منجر به توقف سیستم شود)، در این مقاله نیز این اجزاء شناسایی شده و با به‌کارگیری دانش کارشناسان و متخصصان طراحی و مطالعه نقشه‌های فرآیند و ابزار دقیق (P&ID¹¹)، نمودار دیاگرام بلوکی قابلیت اطمینان FWS ترسیم شده است. سپس با استفاده از آن، قابلیت اطمینان سیستم FWS برای تجزیه و تحلیل و مقایسه پیکربندی جاری با یک پیکربندی پیشنهادی جدید که با کم کردن و به اشتراک گذاشتن قطعات مازاد (افزونه) هزینه ساخت سیستم خنک کننده را کاهش می‌دهد، مورد استفاده قرار گرفته است. برای این منظور از تکنیک RBD برای ارتباط با خبرگان و انجام محاسبات قابلیت اطمینان استفاده شده است. این روش یک روش تحلیلی برای ارزیابی قابلیت اطمینان بوده و نسبت به روش‌های شبیه‌سازی از دقت و سرعت بیشتری برخوردار است. مدل RBD خوانا بوده و با مشاهده آن به آسانی ارتباط میان خرابی کل سیستم با خرابی اجزای آن نشان داده می‌شود. این تکنیک می‌تواند نقاط ضعف سیستم را به خوبی مشخص نماید و نشان دهد که چه نقاطی نیازمند توجه بیشتری برای به‌سازی می‌باشد.

با توجه به توضیحات فوق، در ادامه گام‌های انجام مطالعه برای بهینه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم تغذیه آب خنک‌کننده به شرح زیر توضیح داده می‌شوند:

گام ۱. شناسایی قطعات مورد استفاده در FWS

در ابتدا تمام اطلاعات مربوط به FWS که برای ارزیابی قابلیت اطمینان مورد نیاز است جمع‌آوری گردید. این اطلاعات به طور کلی شامل مواردی نظیر نقشه‌های P&ID، اسناد فنی و دستورالعمل‌های سرویس و نگهداری FWS می‌باشد.

گام ۲. تعیین نرخ شکست هر قطعه

در این مرحله قطعات FWS به دو دسته تقسیم‌بندی شد. دسته اول قطعاتی که نرخ شکست آن‌ها در مرجع (OREDA) وجود داشته و با استفاده از آن نرخ شکست قطعات استخراج گردید و دسته دوم قطعاتی که نرخ شکست آن در مراجع وجود نداشته و با استفاده از آمار خرابی قطعاتی که از سابقه سیستم‌های مشابه جمع‌آوری شده و یا با استفاده از نظرات افراد خبره و متخصص تخمین زده شدند.

گام ۳. ترسیم دیاگرام بلوکی قابلیت اطمینان (RBD):

در این مرحله بر اساس اطلاعات P&ID نحوه چیدمان بلوک‌ها بر اساس منطق عملیاتی و درک عمیق از الزامات عملکرد آن‌ها در کنار یکدیگر به صورت موازی، سری و یا ترکیب k از n رسم شدند.

مفروضات زیر برای ترسیم RBD در نظر گرفته شده است:

- با فرض تابع نمایی برای چگالی احتمال خرابی، نرخ شکست (λ) یک قطعه (هر بلوک) در طول عمر مفید آن ثابت در نظر گرفته شده است.
- از دیدگاه آمار و احتمالات، هر بلوک مستقل از سایر بلوک‌ها در نظر گرفته شده

گام ۴. ارزیابی قابلیت اطمینان هر قطعه

در این مرحله با استفاده از میانگین نرخ خرابی هر قطعه که از مرحله قبل بدست آمد، قابلیت اطمینان هر قطعه با استفاده از فرمول ذیل محاسبه گردید:

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

¹¹ Piping and instrumentation diagram

R: قابلیت اطمینان قطعه (برای ۸۷۶۰ ساعت)

t: زمان مطالعه (۸۷۶۰ ساعت)

λ : نرخ شکست هر قطعه (تعداد بر ساعت)

گام ۵. محاسبه‌ی قابلیت اطمینان کل FWS

در این مرحله با توجه به قابلیت اطمینان هر قطعه و فرمول‌های ذیل قابلیت اطمینان کل FWS محاسبه شد. قابلیت اطمینان قطعاتی که به صورت سری نسبت به هم قرار گرفته‌اند از فرمول ذیل:

$$R_{\text{sys}} = \prod_{i=1}^n (R_i(t)) \quad (2)$$

و برای قطعاتی که به صورت موازی نسبت به هم قرار گرفته‌اند از فرمول ذیل:

$$R_{\text{sys}} = 1 - \left(\prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \right) \quad (3)$$

استفاده شده است که در آن n تعداد قطعات سری و یا موازی و $R_i(t)$ مقدار قابلیت قطعه نام در زمان t است.

همچنین قابلیت اطمینان قطعاتی که با ترکیب ۲ از ۳ کار می‌کنند، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R_{2 \text{ of } 3} = (R_i(t))^3 + 3(R_i(t))^2(1 - R_i(t)) \quad (4)$$

۳- نتایج

برای مقایسه قابلیت اطمینان پیکربندی‌های مختلف دو نوع قابلیت اطمینان زیر محاسبه شده است:

۱. احتمال توقف کامل (Trip probability) P_T : احتمال اینکه FWS به خاطر خرابی قطعات آن توقف کامل (Trip) کند.

۲. احتمال کار نیمه‌بار (Demi-Capacity probability) P_D : احتمال اینکه تنها یکی از خطوط ۵۰٪ تغذیه آب سالم باشد و بنابراین

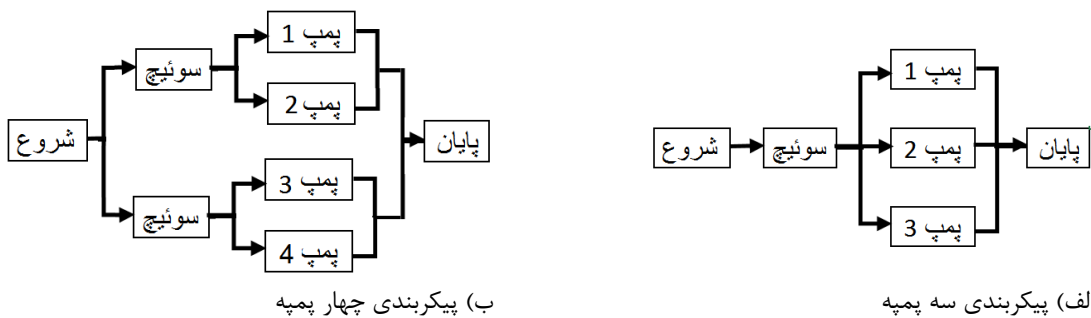
FWS با نصف ظرفیت کار کند.

در ادامه از میانگین فاصله زمانی بین دو خرابی متوالی (MTBF)، که برحسب سال بیان شده است، به عنوان یک شاخص مناسب

برای مقایسه قابلیت اطمینان طرح‌های مختلف استفاده شده است. بدیهی است که بالا بودن MTBF یک طرح، یک مزیت محسوب می‌شود.

برای طرح FWS، واحد مهندسی دونوع پیکربندی پیشنهاد داده است: (۱) پیکربندی سه پمپه و (۲) پیکربندی چهار پمپه (شکل

(۱).



شکل ۱. پیکربندی‌های پیشنهادی برای FWS

مقادیر MTBF برای سیستم تغذیه آب در دو پیکربندی سه پمپه و چهار پمپه به ازاء مقادیر مختلف قابلیت اطمینان پمپ تغذیه آب

(با فرض اینکه سایر قطعات قابلیت اطمینان ۱۰۰٪ دارند)، در جدول ۱ نشان داده شده است که در آن:

- ستون اول سمت چپ قابلیت اطمینان فرضی یک پمپ (احتمال عدم خرابی آن در یک سال) را نشان می‌دهد.
- ستون دوم مقدار میانگین فاصله زمانی بین دو خرابی متوالی (MTBF) محاسبه شده برای یک پمپ را به ازاء هر یک از مقادیر ستون اول نشان می‌دهد.
- ستون‌های دوم و سوم از سمت چپ، به ترتیب مقادیر قابلیت اطمینان عدم توقف (Trip) و نیمه بار را برای حالت سه پمپه نشان می‌دهند.

- ستون‌های چهارم و پنجم از سمت چپ، به ترتیب مقادیر قابلیت اطمینان عدم توقف (Trip) و نیمه بار را برای حالت چهار پمپه نشان می‌دهند.

جدول ۱. مقایسه MTBF سیستم تغذیه آب در دو حالت سه پمپه و چهار پمپه، به ازاء مقادیر مختلف قابلیت اطمینان پمپ تغذیه آب (با فرض اینکه هر یک از سایر قطعات قابلیت اطمینان ۱۰۰٪ دارند)

Reliability of other components=1					
R _{FWP} (for 1 year)	MTBF _{FWP} (year)	MTBF (years)			
		سه پمپه		چهار پمپه	
		R _{NT}	R _{DC}	R _{NT}	R _{DC}
0.8	4.5	124.5	9.9	624.5	12.5
0.85	6.2	295.8	16.9	1974.8	22.2
0.9	9.5	999.5	36.5	9999.5	50.0
0.91	10.6	1371.2	44.7	15241.0	61.7

به طور مثال جدول فوق نشان می‌دهد که اگر قابلیت اطمینان یک پمپ ۰/۸ باشد (یعنی میانگین فاصله زمانی بین دو خرابی متوالی آن ۴/۵ سال باشد) ولی قابلیت اطمینان سایر قطعات ۱۰۰٪ فرض شود، آنگاه FWS به طور متوسط در حالت سه پمپه هر ۱۲۴ سال یکبار توقف کامل و هر ۹/۹ سال یکبار با ظرفیت ۵۰٪ کار خواهد کرد. این در حالی است که برای حالت چهار پمپه این زمان‌ها به ترتیب ۶۲۴/۵) ۵ برابر حالت سه پمپه) و ۱۲/۵ سال خواهد بود. که چون در تمامی حالات متوسط زمان‌های بین دو خرابی برای حالت چهار پمپه بیشتر است. پس اگر قابلیت اطمینان هر یک از بقیه قطعات ۱۰۰٪ فرض شود همواره حالت چهار پمپه بر حالت سه پمپه ارجحیت مطلق خواهد داشت. البته در هر دو حالت، توقف هر چند صد سال یکبار رخ می‌دهد.

در ادامه با تغییر مقادیر قابلیت اطمینان سایر قطعات را تغییر داده و اثر آن را بر قابلیت اطمینان کل سیستم بررسی می‌کنیم. جدول ۲ مقایسه MTBF را برای سیستم تغذیه آب در دو پیکربندی سه پمپه و چهار پمپه به ازاء مقادیر مختلف قابلیت اطمینان پمپ تغذیه آب، با فرض اینکه هر یک از سایر قطعات قابلیت اطمینان ۹۹٪ دارند، را نشان می‌دهد.

در جدول ۲ مشاهده می‌شود، همواره توقف کامل برای حالت چهار پمپه نسبت به حالت سه پمپه بسیار کمتر اتفاق می‌افتد ولی کار سیستم تغذیه آب با نصف ظرفیت بیشتر رخ می‌دهد. بنابراین اگر قابلیت اطمینان هر یک از بقیه قطعات ۸۰٪ فرض شود حالت چهار پمپه از نظر عدم وقوع توقف کامل بهتر و از نظر قابلیت اطمینان نیمه‌بار بدتر از حالت سه پمپه عمل می‌کند. البته در هر دو حالت به طورانتظاری توقف کامل هر ساله رخ می‌دهد.

جدول ۲. مقایسه MTBF سیستم تغذیه آب در دو حالت سه پمپه و چهار پمپه به ازاء مقادیر مختلف قابلیت اطمینان پمپ تغذیه آب (با فرض اینکه سایر قطعات قابلیت اطمینان ۸۰٪ دارند)

Reliability of other components=0.8					
System Reliability	MTBF (years)				
	سه پمپه		چهار پمپه		
	R _{NT}	R _{DC}	R _{NT}	R _{DC}	
0.8	0.6	6.0	0.7	4.0	
0.85	0.6	5.7	0.7	3.7	
0.9	0.6	5.5	0.8	3.6	
0.91	0.6	5.4	0.8	3.5	
0.92	0.6	5.4	0.8	3.5	
0.93	0.6	5.3	0.8	3.5	

0.94	0.6	5.3		0.8	3.4
0.95	0.6	5.3		0.8	3.4
0.96	0.6	5.2		0.8	3.4
0.97	0.6	5.2		0.8	3.3
0.98	0.7	5.2		0.8	3.2
0.99	0.7	5.1		0.8	3.3
1	0.7	5.1		0.8	3.2

۴- یافته‌ها

قابلیت اطمینان FWS با توجه به نرخ شکست قطعات برای مدت زمان یک سال برآورد گردید و بر اساس مقادیر محاسبه شده مشخص شد که اگر قابلیت اطمینان قطعات بالا باشد حالت چهار پمپه و در غیر اینصورت حالت سه پمپه برتری دارد. تصمیم‌گیری در مورد انتخاب هریک از این پیکربندی‌ها نیاز به ارزیابی اقتصادی در مورد هزینه‌های ساخت و هزینه‌های توقف و کار نیمه بار دارد. برای پژوهش‌های آتی می‌توان از مقادیر قابلیت اطمینان فازی نیز برای انعکاس نظر خبرگان استفاده نمود.

منابع و مراجع

- [۱] حاجیان حسین آبادی، حمزه، مدل سازی، بررسی و مقایسه چیدمان های متداول تجهیزات اتوماسیون پست جهت ارزیابی قابلیت اطمینان پست های خودکار، دانشگاه صنعتی شریف ۱۳۸۷.
- [۲] ارزیابی قابلیت اطمینان جایگاه سوخت رسانی CNG به روش دیاگرام بلوکی (RBD)، شهناز مهدوی، سیدمحمدرضا میری لواسانی، مجله علمی- پژوهشی سلامت کار ایران، دوره ۱۱، شماره ۳ - (۱۳۹۳). جلد ۱۱ شماره ۳ صفحات ۲۲-۲۹.
- [3] Lisnianski, Anatoly. "Extended block diagram method for a multi-state system reliability assessment." *Reliability Engineering & System Safety* 92.12 (2007): 1601-1607.
- [4] Guo, Haitao, and Xianhui Yang. "A simple reliability block diagram method for safety integrity verification." *Reliability Engineering & System Safety* 92.9 (2007): 1267-1273.
- [5] Dhillon, Balbir S., and Subramanyam N. Rayapati. "Reliability analysis of networks with human errors: a block diagram approach." *Microelectronics Reliability* 27.6 (1987): 981-999.
- [6] Buzacott, J. A. "Finding the MTBF of repairable systems by reduction of the reliability block diagram." *Microelectronics Reliability* 6.2 (1967): 105-112.
- [7] Dhillon, B. S., and N. Yang. "Comparisons of block diagram and Markov method system reliability and mean time to failure results for constant and non-constant unit failure rates." *Microelectronics Reliability* 37.3 (1997): 505-509.
- [8] Jane, Chin-Chia, and Yih-Wenn Lai. "Distribution and Reliability Evaluation of Max-Flow in Dynamic Multi-State Flow Networks." *European Journal of Operational Research* (2016).
- [9] Li, Ying Yi, et al. "Reliability analysis of multi-state systems subject to failure mechanism dependence based on a combination method." *Reliability Engineering & System Safety* (2016).
- [10] Peng, Rui, Hui Xiao, and Hanlin Liu. "Reliability of multi-state systems with a performance sharing group of limited size." *Reliability Engineering & System Safety* (2016).
- [11] Yeh, Cheng-Ta, and Lance Fiondella. "Optimal redundancy allocation to maximize multi-state computer network reliability subject to correlated failures." *Reliability Engineering & System Safety* (2016).