

طراحی یک سیستم هشدار تک متغیره با رویکرد تایمرهای تأخیری مبتنی بر سناریوی آستانه چندگانه

جعفر طاهری کلانی^۱، دانشجوی دکتری؛ غلامرضا لطیف شباگاهی^۲، استادیار؛ مهدی علیاری شوره دلی^۳، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه شهید بهشتی - تهران - ایران - Ja_Taheri@sbu.ac.ir

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه شهید بهشتی - تهران - ایران - gh_latif@sbu.ac.ir

۳- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی - تهران - ایران - aliyari@eetd.kntu.ac.ir

چکیده: سیستم‌های هشدار نقش مهمی در حفظ ایمنی و جلوگیری از وقوع حوادث در سیستم‌های صنعتی به عهده دارند. تایمر تأخیری به‌عنوان یک روش ساده در طراحی سیستم‌های هشدار، نقش مؤثری در مدیریت هشدارها و کاهش هشدارهای نویزی می‌تواند داشته باشد. در این مقاله با استفاده از سناریوی جدیدی از تایمرهای تأخیری و در نظر گرفتن چندین آستانه برای وقوع هشدار، رویکرد جدیدی تحت عنوان تایمرهای تأخیری چند آستانه‌ای معرفی می‌گردد. در سناریوی آستانه چندگانه، با تقسیم نواحی بالا و پایین آستانه به چند ناحیه و تغییر تعداد تأخیرهای تایمر تأخیری در هر ناحیه می‌توان از هشدارهای غیرضروری تا حد چشمگیری جلوگیری کرد. در این مقاله علاوه بر استخراج شاخص‌های عملکردی "نرخ هشدار نادرست" و "نرخ هشدار از دست‌رفته"، با استفاده از مدل مارکوف، شاخص جدیدی تحت عنوان "میانگین زمانی وقوع هشدار" معرفی می‌گردد که با استفاده از آن می‌توان به راحتی شاخص "میانگین تأخیر هشدار" را برای تایمرهای تأخیری چند آستانه‌ای محاسبه کرد. در این مقاله عملکرد چهار سناریوی مختلف تحت عنوان سناریوی ریست، پنالتی، m -out-of- n و سناریوی پیشنهادی چندآستانه‌ای ارزیابی شده و برتری آن در مقایسه با روش‌های موجود نشان داده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت هشدار، تایمر تأخیری، آستانه چندگانه، هشدار نادرست، هشدار از دست‌رفته.

Designing of a Univariate Alarm System based on Delay Timers Using Multiple Thresholds

Jafar Taheri Kalani¹, PhD Student; Gholamreza Latif Shabgahi², Assistant Professor; Mahdi Alyari Shoordeli³, Assistant Professor³

1- Faculty of Electrical Engineering, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran, Email: Ja_Taheri@sbu.ac.ir

2- Faculty of Electrical Engineering, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran, Email: gh_Latif@sbu.ac.ir

3- Faculty of Electrical Engineering, K. N. Toosi University, Tehran, Iran, Email: aliyari@eetd.kntu.ac.ir

Abstract: Alarm systems play an important role in ensuring safe and efficient operations. Delay timer as a simple method has effective role in managing alarms and reducing nuisance alarms. In this paper, a new delay timer is introduced based on multi levels of thresholds. This scenario named as multi-levels delay timers. In this scenario, the regions of upper and lower areas of threshold are divided to some regions by considering new thresholds with various delays. In this paper, three performance indices named, False Alarm Rate (FAR), Missed Alarm Rate (MAR) and Average Alarm Delay (AAD) are derived for multi thresholds approaches using Markov models. Also, the new index named "mean time to alarm (MTTA)" is introduced to analysis alarm system and computation of AAD in proposed scenario. The performance of the proposed method and other methods for designing of delay timers are compared and the effectiveness of proposed method is provided during some case studies.

Keywords: alarm management, delay timer, multi thresholds, false alarm, miss alarm.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۶/۸/۴

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۳/۲۷

نام نویسنده مسئول: غلامرضا لطیف شباگاهی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - تهران - حکیمیه - بلوار بهار - پردیس فنی و مهندسی عباسپور - دانشکده مهندسی برق - گروه کنترل.

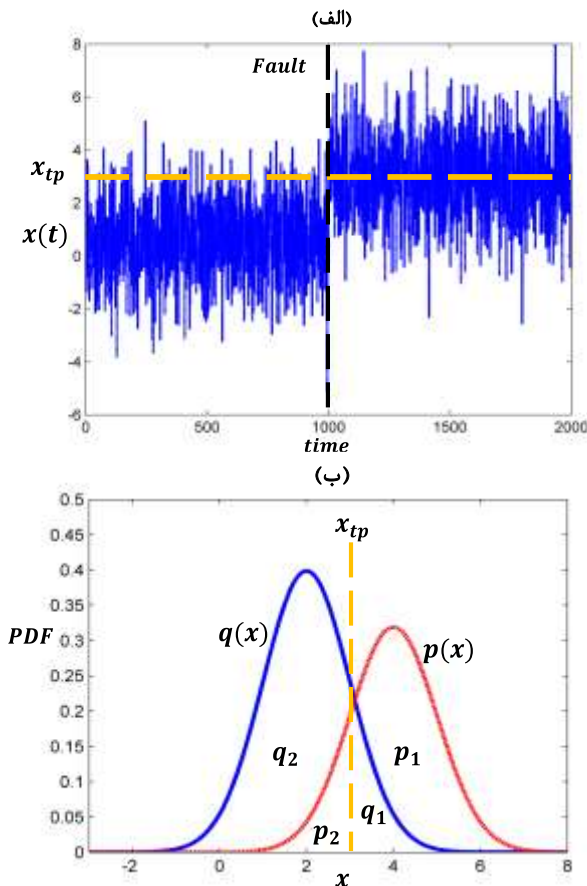
۱- مقدمه

امروزه سیستم‌های تشخیص عیب و مدیریت هشدار از اجزای لاینفک سیستم‌های صنعتی مدرن هستند. آمارها نشان می‌دهد که اتفاقات و خطاهای ناخواسته، وقوع عیب در تجهیزات و خاموشی‌های ناگهانی و برنامه‌ریزی نشده، سالانه میلیاردها دلار به واحدهای صنعتی ضرر وارد می‌کند. این اتفاقات از عوامل گوناگونی نظیر آسیب‌های جزئی در تجهیزات، تنظیم نامناسب کنترل‌کننده‌ها، انتخاب نامناسب نقاط تنظیم، خروج از کالیبراسیون تجهیزات و ... ناشی می‌شود. برای جلوگیری از این مشکلات و بهبود کیفیت محصولات، امروزه عملکرد بخش‌های مختلف یک واحد صنعتی پایش و کنترل می‌شود. یک سیستم هشدار به‌عنوان قسمتی از یک سیستم پایش^۱ و نظارت، مجموعه‌ای از سخت‌افزارها و نرم‌افزارها است که بر اساس یک سری استانداردها [۲ و ۱] در تولید و مدیریت هشدار، به تشخیص به‌موقع خطاهای رخ داده در قسمت‌های مختلف یک واحد صنعتی کمک می‌کند. در ارتباط با سیستم‌های هشدار و بحث مدیریت هشدار چندین استاندارد از جمله استاندارد^۲ EEMUA 191 [۱] و استاندارد^۳ ISA S18.02 [۲] وجود دارد.

در دو دهه اخیر روش‌های مختلفی برای طراحی یک سیستم هشدار ارائه شده است. اما می‌توان به روش‌های باند مرده^۴، فیلترها و تایمرهای تأخیری اشاره کرد که به‌عنوان روش‌های مؤثری در طراحی سیستم‌های هشدار، در صنعت بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مرجع [۳] روشی نرم‌افزاری برای کاهش تعداد هشدارها بر مبنای پاک‌سازی هشدارها ارائه شده است. در مرجع [۴] یک روش هندسی برای مدیریت و کاهش هشدار برای سیستم‌های چند متغیره معرفی شده است. در مرجع [۵] روش تخمین باند مرده به‌منظور کاهش هشدارها و در [۶] روشی برای کاهش پدیده چترینگ هشدار^۵ بر اساس مفهوم طول اجزای^۶ مورد توجه قرار گرفته است. در مراجع [۷-۸] روشی مبتنی بر کران هشدار^۷ برای مدیریت هوشمند هشدار پیشنهاد شده است. در بعضی مراجع مانند [۹-۱۰] فیلترینگ هشدار^۸ مورد بحث قرار گرفته است. در مرجع [۹] از درخت عیب دینامیکی استفاده شده است و در [۱۰] یک روش بهینه مبتنی بر پردازش سیگنال هشدار ارائه شده است. در ارتباط با تایمرهای تأخیری که موضوع بحث این مقاله است، می‌توان گفت در سال‌های اخیر تنها دو کار عمده در مراجع [۱۱] و [۱۲] صورت گرفته است. در مرجع [۱۱] با استفاده از ابزار مارکوف رفتار یک تایمر تأخیری با n نمونه تأخیر در رخداد و قطع هشدار مدل‌سازی شده و شاخص‌های، نرخ هشدار نادرست^۹ (FAR)، نرخ هشدار ازدست‌رفته^{۱۰} (MAR) و میانگین تأخیر هشدار^{۱۱} (AAD) استخراج و مورد ارزیابی قرار گرفته است و در مرجع [۱۲] حالت جامع‌تری از تایمرهای تأخیری تحت عنوان سناریوی m -out-of- n معرفی شده است. در سال‌های اخیر علاوه بر سیستم‌های هشدار تک متغیره، سیستم‌های هشدار چندمتغیره (چندسنسوره) نیز مورد توجه قرار گرفته است. در مرجع [۱۳] روشی برای تنظیم بهینه آستانه در

سیستم‌های چند متغیره و در مرجع [۱۴] با استفاده از توزیع Q و T2 آماری، روشی برای تشخیص عیب‌های جمعی و ضربی در سیستم‌های چند متغیره معرفی گردیده است. علاوه بر سیستم‌های چند متغیره در سال‌های اخیر، کاربرد تئوری‌های تصمیم‌گیری در طراحی سیستم‌های هشدار نیز مورد توجه قرار گرفته است. در مرجع [۱۵] از "تئوری شواهد" به‌عنوان راهکاری برای طراحی یک سیستم هشدار استفاده شده است و مرجع [۱۶] به‌عنوان یک مقاله مروری، علاوه بر دلایل عمده وقوع پدیده سیل هشدار و مراحل طراحی یک سیستم هشدار، به روش‌های طراحی سیستم‌های هشدار، چالش‌ها و موضوعات تحقیقاتی باز در حوزه سیستم‌های هشدار پرداخته است. در مرجع [۱۷] سناریوی پنالته برای طراحی تایمرهای تأخیری معرفی شده است. مرجع [۱۸] به محاسبه شاخص‌های عملکردی یک سیستم هشدار با در نظر گرفتن ارتباط بین حالت‌های هشدار و غیر هشدار پرداخته است. در مرجع [۱۹] شاخص‌های سیستم هشدار تک متغیره برای روش باند مرده با استفاده از مدل مارکوف استخراج شده است. در مرجع [۲۰] روشی برای طراحی سیستم‌های هشدار چندمتغیره با استفاده از فیلترهای بیضوی معرفی شده است. در مرجع [۲۱] از تکنیک H_{∞} مبتنی بر داده برای طراحی یک تخمین گر عیب استفاده شده است و در مرجع [۲۲] از روش‌های ترکیبی داده‌کاوی برای تشخیص، شناسایی و جداسازی عیب استفاده شده است.

مراجعی که تاکنون معرفی شد هر کدام به معرفی یکی از روش‌های طراحی سیستم هشدار پرداخته‌اند و ترکیب این روش‌ها مورد مطالعه قرار نگرفته است. با توجه به استانداردهایی [۱-۲] که در زمینه طراحی سیستم‌های هشدار وجود دارد علاوه بر روش‌های معمول مانند فیلتر، باند مرده، تایمرهای تأخیری و آستانه چندگانه، ترکیب این روش‌ها به‌عنوان یک سناریوی مؤثر در طراحی سیستم‌های هشدار می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. از این رو در این مقاله روش‌های آستانه چندگانه و تایمرهای تأخیری با یکدیگر ترکیب شده و سناریوی جدیدی برای یک سیستم هشدار تک متغیره (تک سنسوره) مبتنی بر تایمرهای تأخیری معرفی می‌گردد. اگر تعداد تأخیرها در یک تایمر تأخیری به‌درستی تعیین گردد می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش تعداد هشدارهای غیرضروری داشته باشد. اصولاً در روش‌های طراحی سیستم هشدار با آستانه ثابت، افزایش و یا کاهش یک شاخص عملکردی باعث کاهش و یا افزایش شاخص دیگر خواهد شد. از این رو معمولاً در طراحی سیستم‌های هشدار لازم است بین شاخص‌های عملکردی یک مصالحه صورت گیرد. در تایمرهای تأخیری چند آستانه‌ای که در این مقاله معرفی می‌گردد، هدف این است که با افزایش تعداد آستانه‌ها و تقسیم نواحی بالا و پایین آستانه به نواحی مختلف و تغییر تعداد تأخیرها در هر ناحیه، عملکرد سیستم هشدار را بهبود بخشیده و تا حد ممکن از وقوع هشدارهای غیرضروری جلوگیری شود. با توجه به مراجع [۱۱-۱۲] محاسبه شاخص AAD تا حدودی زمان‌بر و مشکل است و این پیچیدگی در محاسبه شاخص AAD در سناریوی آستانه چندگانه



شکل ۱: فضای نمونه یک سیگنال گسسته تصادفی و توابع توزیع احتمال مربوط به قسمت های نرمال و غیر نرمال سیگنال $x(t)$

اگر t_0 لحظه وقوع عیب و t_a لحظه وقوع هشدار باشد، به عنوان تأخیر در رخداد هشدار در نظر گرفته شده و به صورت زیر تعریف می گردد:

$$T_i \quad (3)$$

با توجه باینکه سیگنال $x(t)$ یک سیگنال تصادفی گسسته با زمان نمونه برداری h است، T_d نیز یک متغیر تصادفی گسسته به صورت $\{0h, 1h, 2h, \dots\}$ خواهد بود لذا پارامتر AAD به صورت امید ریاضی متغیر تصادفی T_d تعریف می گردد و به صورت زیر بیان می شود:

$$A \quad (4)$$

با توجه به مرجع [۱۱]، پارامتر AAD را می توان برحسب متغیرهای p_1 و p_2 بیان کرد:

$$A \quad (5)$$

که در رابطه بالا $p_1 = 1 - p_2$ و h زمان نمونه برداری است. در این بخش فرض کردیم که $n = 1$ باشد و هر بار که یک نمونه از سیگنال از سطح آستانه بیشتر شد، هشدار صادر گردد و هر بار که یک نمونه کوچک تر از آستانه شد سیگنال هشدار قطع گردد. در حالت کلی می توان برای مقادیر مختلفی از n ، سیستم هشدار را طراحی کرد.

دوچندان می شود. لذا در این مقاله علاوه بر شاخص های FAR و MAR، شاخص دیگری به نام "متوسط زمانی رخداد هشدار" یا MTTA به جای AAD معرفی می شود که با استفاده از آن می توان شاخص AAD را به سادگی محاسبه کرد. این شاخص ها به کمک مدل مارکوف برای تایمر تأخیری چند آستانه ای استخراج شده و عملکرد سناریوهای مختلف با ارائه مثال هایی مورد ارزیابی قرار می گیرد. این مقاله به صورت زیر سازماندهی می شود. بخش ۲ به تعاریف اولیه و معرفی شاخص های هشدار برای یک سیستم هشدار پایه می پردازد. در بخش ۳، سناریوهای ریست، پنالتی و m -out-of- n معرفی می گردد. در بخش ۴ سناریوی پیشنهادی چند آستانه ای و شاخص های ارزیابی عملکرد سیستم هشدار و نحوه استخراج آن ها از روی مدل مارکوف سیستم ارائه می شود و در بخش ۵ عملکرد سناریوهای مختلف با ارائه مثال هایی مورد ارزیابی قرار می گیرد.

۲- معرفی شاخص های هشدار برای یک سیستم پایه

در این بخش، شاخص های FAR، MAR و AAD مربوط به یک سیستم هشدار پایه برای یک سیستم تک متغیره (تک سنسوره) بیان می گردد. فضای نمونه مربوط به سیگنال گسسته تصادفی $x(t)$ با دوره نمونه برداری h نشان داده شده در شکل ۱ (الف) را در نظر بگیرید. در این شکل x_{tp} آستانه در نظر گرفته شده برای رخداد هشدار است. فرض کنید که در لحظه $t = 1000h$ یک عیب رخ داده باشد و سناریوی رخداد و قطع هشدار بدین صورت باشد که، اگر n نمونه پشت سر هم از سیگنال $x(t)$ از سطح x_{tp} عبور کند (بالا تر باشد)، هشدار صادر می شود. در صورتی که n نمونه پشت سرهم بعدی از سطح x_{tp} پایین تر باشد هشدار صادر شده قبلی قطع می گردد. برای سادگی حالت $n = 1$ را در نظر بگیرید. در این مثال، داده های $x(1:1000)$ به عنوان داده های نرمال و داده های $x(1001:2000)$ به عنوان داده های غیر نرمال در نظر گرفته می شود. پس از جداسازی داده های نرمال و غیر نرمال، می توان توزیع احتمالاتی این داده ها را تخمین زد. تابع توزیع احتمال برای این داده ها مطابق شکل ۲ (ب)، به صورت نرمال فرض شده است. در این شکل $q(x)$ تابع توزیع احتمال مربوط به داده های نرمال و $p(x)$ تابع توزیع مربوط به داده های غیر نرمال می باشد. برای این سیستم هشدار پایه، پارامتر FAR برابر است با سطح زیر نمودار تابع توزیع احتمال مربوط به داده های نرمال که از x_{tp} بزرگ تر باشند و به صورت زیر تعریف می شود:

$$F \quad (1)$$

همچنین پارامتر MAR برابر است با سطح زیر نمودار تابع توزیع احتمال مربوط به داده های غیر نرمال که از x_{tp} کوچک تر باشند و به صورت زیر تعریف می شود:

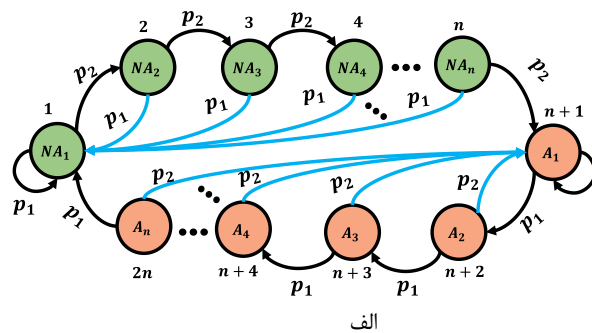
$$M \quad (2)$$

۳- بررسی سناریوهای مختلف در طراحی تایمرهای تأخیری

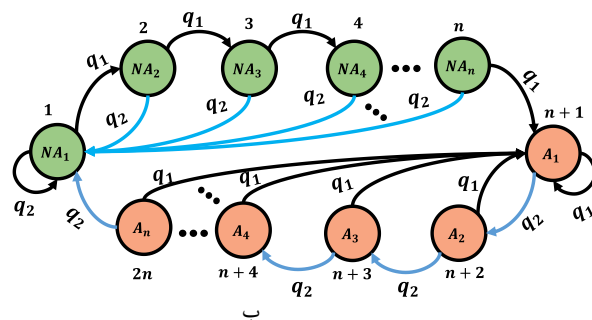
در این بخش ابتدا روش مرجع [۱۱] تحت عنوان سناریوی ریست مورد بررسی قرار می‌گیرد، سپس سناریوی m -out-of- n برداشته شده از مرجع [۱۲] معرفی می‌گردد و در ادامه سناریوی پنالته معرفی شده در مرجع [۱۷] معرفی می‌گردد.

۳-۱- سناریوی ریست

در این روش فرض می‌شود که اگر n نمونه پشت سرهم از سیگنال $x(t)$ بالاتر از آستانه باشد (با فرض اینکه بالاتر بودن سیگنال از آستانه منجر به رخداد هشدار گردد) سیستم به حالت هشدار رفته و تا زمانی که n نمونه متوالی بعدی پایین‌تر از آستانه قرار نگیرد، سیستم در حالت هشدار باقی می‌ماند. سؤال این است که اگر در بین این n نمونه بالاتر/پایین‌تر از آستانه، یک یا چند نمونه از سیگنال پایین‌تر/بالاتر باشد، سیستم هشدار بایستی چه تصمیمی بگیرد؟ برای پاسخ به این سؤال در مرجع [۱۱] از ایده ریست استفاده شده است. این موضوع را می‌توان به کمک مدل مارکوف نشان داد. (شکل ۲)



الف



ب

شکل ۲: الف) مدل مارکوف داده‌های غیر نرمال. ب) مدل مارکوف داده‌های نرمال

در شکل ۲ مدل مارکوف متناظر با داده‌های نرمال و غیر نرمال مربوط به یک سیستم هشدار با n نمونه تأخیر در رخداد هشدار و n نمونه تأخیر در قطع آن با استفاده از سناریوی ریست، نشان داده شده است. در این شکل حالت بدون هشدار با NA و حالت‌های هشدار با A نمایش داده شده‌اند. در این شکل پارامترهای q_1 و p_2 همان پارامترهای معرفی شده در (۱) و (۲) می‌باشد و $p_1 = 1 - p_2$ و $q_2 = 1 - q_1$ است.

با توجه به شکل ۲ (ب)، فرض کنید اولین نمونه از سیگنال $x(t)$ پایین‌تر از آستانه قرار گیرد، در این صورت در حالت NA_1 قرار داریم. اگر نمونه بعدی هم پایین‌تر از آستانه باشد، در این صورت با احتمال q_2 در همان حالت می‌مانیم و اگر نمونه بعدی بالاتر از آستانه باشد، آنگاه با احتمال q_1 به حالت NA_2 خواهیم رفت. این روند ادامه پیدا خواهد کرد تا سرانجام به نمونه n ام برسیم. اگر نمونه n ام از سیگنال $x(t)$ نیز بالاتر از آستانه باشد، به این معنی است که n نمونه پشت سرهم از سیگنال $x(t)$ بالاتر از آستانه بوده است، بنابراین سیستم به حالت هشدار یعنی A_1 خواهد رفت و هشدار صادر می‌شود. اما اگر بین نمونه‌هایی که بالاتر از آستانه قرار دارند نمونه‌ای از سیگنال پایین‌تر از آستانه قرار گیرد، در این صورت سیستم هشدار به حالت اولیه NA_1 ریست می‌شود. سیستم در حالت A_1 خواهد ماند تا زمانی که n نمونه پشت سرهم از سیگنال پایین‌تر از آستانه قرار گیرد هشدار به حالت NA_1 برمی‌گردد و هشدار قطع می‌گردد. با استفاده از مدل مارکوف در شکل ۲ (ب) شاخص نرخ هشدارهای نادرست یعنی FAR را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد [۱۱].

$$F \quad (۶)$$

همچنین با استفاده از مدل مارکوف شکل ۲ (الف) که مربوط به داده‌های غیر نرمال می‌باشد می‌توان شاخص نرخ هشدارهای ازدست‌رفته یا MAR به صورت زیر محاسبه کرد [۱۱].

$$M \quad (۷)$$

همچنین شاخص میانگین AAD با توجه به مرجع [۱۱] به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$A \quad (۸)$$

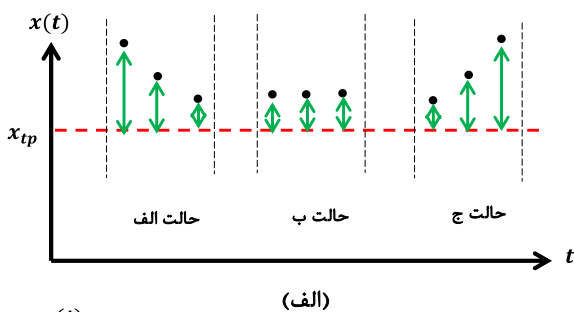
۳-۲- سناریوی m -out-of- n

در این سناریو، ابتدا n نمونه پشت سرهم از سیگنال انتخاب می‌شود، اگر بین n نمونه از سیگنال، m نمونه آن بالاتر از آستانه قرار گیرد هشدار صادر می‌گردد. لزومی ندارد که این m نمونه پشت سرهم باشند یا نباشند. در شکل ۳ مدل مارکوف داده‌های نرمال مربوط به سناریوی m -out-of- n نشان داده شده است. با توجه به مرجع [۱۲]، شاخص‌های FAR و MAR را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد.

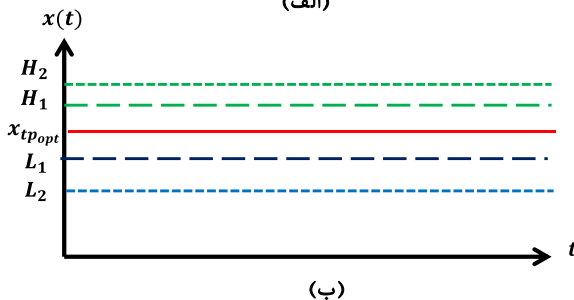
$$F \quad (۹)$$

در مرجع [۱۲] شاخص‌های عملکردی سیستم هشدار برای حالت کلی m -out-of- n به دلیل پیچیدگی مسئله استخراج نشده است و برای حالت کلی یک الگوریتم کامپیوتری ارائه شده و تنها فرمول بسته برای حالت m -out-of- n ارائه شده است. در سناریوی m -out-of- n برای حالت $m = n$ عملکرد این سناریو و سناریوی ریست مانند هم خواهد بود.

صادر می‌گردد. اما وضعیت انحراف نمونه‌های سیگنال نسبت به آستانه در حالات مختلف باهم متفاوت است. به‌عنوان مثال در حالت (الف) نمونه‌های سیگنال سیر نزولی دارند و سیگنال تمایل دارد که به زیر آستانه برگردد. در حالت (ب) نمونه‌های سیگنال نزدیک آستانه قرار دارند و احتمال اینکه این نمونه‌ها تحت تأثیر نویز قرار گرفته باشند زیاد است. در حالت (ج) نمونه‌های سیگنال سیر صعودی دارند و لحظه‌به‌لحظه مقدار سیگنال افزایش پیدا می‌کند که این می‌تواند منجر به شرایط خطرناک‌تری نسبت به حالات قبلی گردد. اگر تعداد تأخیرها در تایمر تأخیری برای این حالات باهم برابر فرض شود، سیستم هشدار نمی‌تواند تصمیمات معقولی در رخداد و یا قطع هشدار اتخاذ کند. بنابراین لازم است که سیستم هشدار به نحوی اصلاح گردد که بتواند این‌گونه شرایط را از هم تفکیک کرده و تصمیمات منطقی‌تری بگیرد.



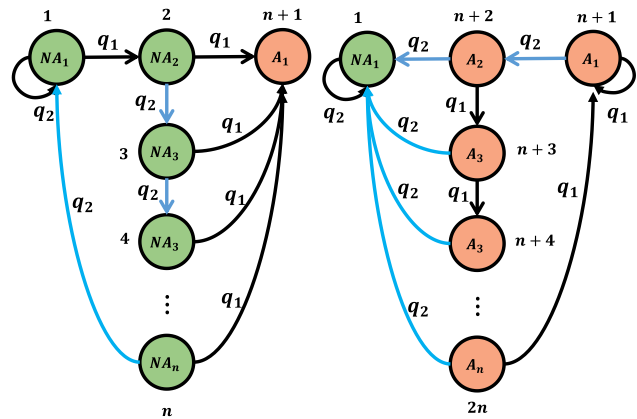
(الف)



(ب)

شکل ۵: (الف) چند نمونه از حالات وقوع هشدار در یک تایمر تأخیری با $n = 3$: (ب) آستانه چندگانه

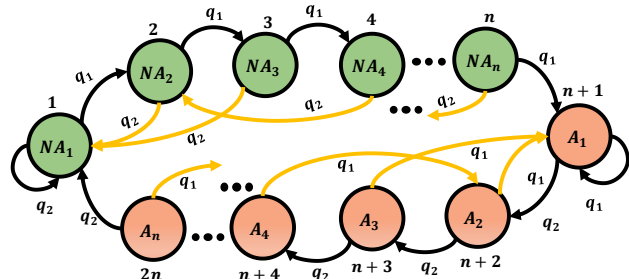
در این مقاله سناریوی آستانه چندگانه در جهت رفع این مشکل پیشنهاد می‌گردد. در واقع با در نظر گرفتن چند آستانه می‌توان ناحیه بالا و پایین آستانه اصلی (x_{tp}) را به چند ناحیه تقسیم کرد و با تغییر تعداد تأخیرها در هر ناحیه زمان وقوع هشدار را تنظیم کرد. سناریوی آستانه چندگانه بدین صورت عمل می‌کند که در نواحی نزدیک آستانه برای کاهش اثرات نویز، با تأخیر بیشتری هشدار قطع و وصل می‌گردد و هرچه قدر که از آستانه فاصله بگیریم تعداد تأخیرها در تایمر تأخیری کاهش پیدا می‌کند لذا با سرعت بیشتری هشدار به صدا درمی‌آید. در این مقاله تایمر تأخیری سه ناحیه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل پیشنهادی در این مقاله مدل $n/m/k$ است، به این معنی که در بالاترین سطح نسبت به آستانه، تعداد تأخیرهای تایمر تأخیری برابر n می‌باشد. تعداد این تأخیرها در ناحیه میانی m و در ناحیه نزدیک آستانه k می‌باشد. در این حالت شاخص FAR در نواحی مختلف به صورت زیر تعریف می‌گردد:



شکل ۳: مدل مارکوف FAR متناظر با سناریوی 2-out-of-n

۳-۳- سناریوی پنالتی

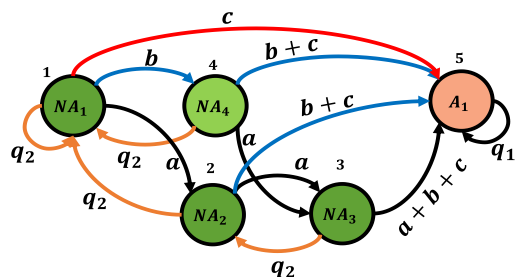
سناریوی پنالتی حالت توسعه یافته سناریوی ریست می‌باشد. در این سناریو اگر بین n نمونه از سیگنال که بالاتر از آستانه هستند، نمونه یا نمونه‌هایی از سیگنال پایین‌تر از آستانه قرار گیرند، سیستم هشدار برخلاف سناریوی ریست به حالت NA_1 ریست نمی‌شود بلکه به اندازه پنالتی i به حالات‌های قبلی خود برمی‌گردد. در این سناریو، پنالتی می‌تواند بین ۱ تا $n-1$ تغییر کند و برای $i = n-1$ عملکرد داده‌های نرمال برای پنالتی $i = 2$ نشان داده شده است. این سناریو در مرجع [۱۷] معرفی شده که در آن برای استخراج شاخص‌های عملکردی یک الگوریتم کامپیوتری ارائه شده است.



شکل ۴: مدل مارکوف داده‌های نرمال در سناریوی پنالتی با $i = 2$

۴- سناریوی پیشنهادی

در روش‌های معمول طراحی سیستم‌های هشدار با رویکرد تایمرهای تأخیری مانند سناریوی ریست، m -out-of- n و پنالتی، وقتی یک نمونه از سیگنال بالاتر یا پایین‌تر از آستانه قرار می‌گیرد، صرفه نظر از اینکه مقدار این نمونه چه میزان با آستانه فاصله دارد، تأثیر یکسانی در رخداد و یا قطع هشدار دارد. این در حالی است که میزان انحراف سیگنال از سطح آستانه در تعیین میزان خطرناک بودن شرایط پیش‌آمده که ممکن است ناشی از وقوع یک عیب باشد، مؤثر است. به‌عنوان مثال فرض کنید که تعداد تأخیرها در تایمر تأخیری برابر $n = 3$ باشد. در شکل ۵ قسمت (الف) چند حالت مختلف نشان داده شده است که در همه حالات سیستم هشدار فعال شده و هشدار



شکل ۶: مدل مارکوف داده‌های نرمال برای حالت $n = 1$ در سناریوی پیشنهادی $n-m-k$

برای نمونه‌هایی از سیگنال که بالاتر از آستانه و در نواحی سه‌گانه قرار دارند، با توجه به گذارهایی که در شکل ۶ رسم شده است، سیستم بین نواحی تغییر وضعیت می‌دهد. زمانی که سیستم به حالت هشدار A_1 می‌رود، با توجه به وضعیت داده‌های پایین‌تر از آستانه در نواحی مختلف پایین آستانه، با توجه به شکل ۶ سیستم هشدار با احتمال‌های e ، f و g به حالت NA_1 برمی‌گردد و هشدار قطع می‌شود. در ادامه نحوه محاسبه شاخص‌های FAR، MAR و AAD برای سناریوی پیشنهادی معرفی می‌گردد. از آنجاکه استخراج فرمول‌های بسته، در سناریوی پیشنهادی پیچیده است. لذا ابتدا نحوه محاسبه این شاخص‌ها بیان شده و در ادامه یک روش کامپیوتری برای استخراج این شاخص‌ها در بخش ۴-۵ معرفی خواهد شد.

ماتریس گذار حالت برای شکل ۶ به صورت زیر می‌باشد:

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_2 & a & 0 & b & c & 0 & 0 & 0 \\ q_2 & 0 & a & 0 & b+c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 & 0 & a+b+c & 0 & 0 & 0 \\ q_2 & 0 & a & 0 & b+c & 0 & 0 & 0 \\ \hline e & 0 & 0 & 0 & q_1 & e & 0 & f \\ e+f & 0 & 0 & 0 & q_1 & 0 & e & 0 \\ e+f+g & 0 & 0 & 0 & 0 & q_1 & 0 & 0 \\ f+g & 0 & 0 & 0 & q_1 & 0 & e & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

اگر $\Pi = [\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8]$ بردار احتمال حالات مدل مارکوف باشد، معادلات مارکوف در حالت ماندگار به صورت زیر می‌باشد:

$$\Pi \quad (15)$$

همچنین داریم:

$$a \quad (10)$$

که در رابطه بالا، $q(x)$ تابع توزیع احتمال داده های نرمال، a احتمال قرار گرفتن داده‌های نرمال در بازه $x_{tp} \leq x(t) \leq H_1$ ، b احتمال قرار گرفتن داده‌های نرمال در بازه $H_1 \leq x(t) \leq H_2$ و c احتمال قرار گرفتن داده‌های نرمال در بازه $H_2 \leq x(t) \leq \infty$ می‌باشد. همچنین داریم:

$$a \quad (11)$$

شاخص MAR نیز در نواحی مختلف به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$e \quad (12)$$

$$g$$

که در رابطه بالا e احتمال قرار گرفتن داده‌های غیر نرمال در بازه $L_1 \leq x(t) \leq x_{tp}$ ، f احتمال قرار گرفتن داده‌های غیر نرمال در بازه $L_2 \leq x(t) \leq L_1$ و g احتمال قرار گرفتن داده‌های غیر نرمال در بازه $-\infty \leq x(t) \leq L_2$ می‌باشد. همچنین داریم:

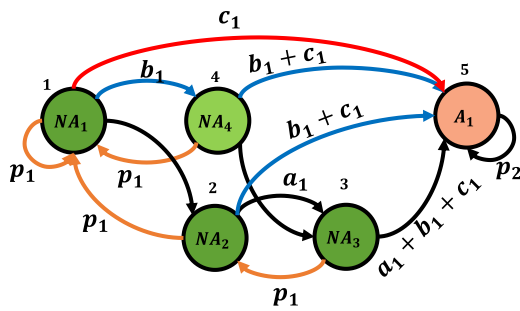
$$e \quad (13)$$

با استفاده از تعاریف بالا می‌توان مدل‌های مارکوف متناظر با هر کدام از شاخص‌های سیستم هشدار را رسم نمود و شاخص‌های مربوطه را استخراج کرد.

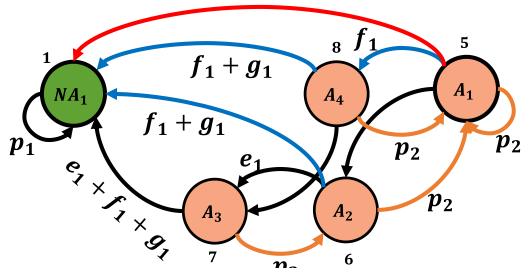
۴-۱- محاسبه شاخص‌های عملکردی در سناریوی آستانه چندگانه

به‌عنوان حالت خاصی از سناریوی $n/m/k$ ، فرض می‌کنیم $k = n + 2$ و $m = n + 1$ باشد. در شکل ۶، مدل مارکوف متناظر با داده‌های نرمال برای حالت $n = 1$ نشان داده شده است. یعنی در بالاترین لایه بالای آستانه تعداد تأخیرها ۱، در لایه میانی تعداد تأخیرها برابر ۲ و در لایه نزدیک آستانه تعداد تأخیرها ۳ می‌باشد.

در شکل ۶، ابتدا در حالت بدون هشدار NA_1 قرار داریم. اگر سه نمونه پشت سرهم از داده‌های سیگنال در ناحیه $x(t) \leq H_1$ قرار گیرد، سیستم هشدار با احتمال a به حالت هشدار A_1 می‌رود که احتمال a با رابطه (۱۰) قابل محاسبه است. اگر دو نمونه پشت سرهم از نمونه‌های سیگنال در ناحیه $H_1 \leq x(t) \leq H_2$ رخ دهد، سیستم هشدار با احتمال b به حالت هشدار A_1 می‌رود و اگر یک نمونه از نمونه‌های سیگنال در ناحیه $H_2 \leq x(t) \leq \infty$ یعنی لایه بالایی آستانه قرار گیرد، سیستم با احتمال c به حالت A_1 می‌رود. حال اگر بین نمونه‌های بالاتر از آستانه در هر ناحیه، نمونه‌ای پایین‌تر از آستانه قرار گیرد، سیستم با احتمال q_2 به حالت قبلی خود می‌رود. در این قسمت سناریو شبیه به سناریوی پنالته با $i = 1$ می‌باشد.

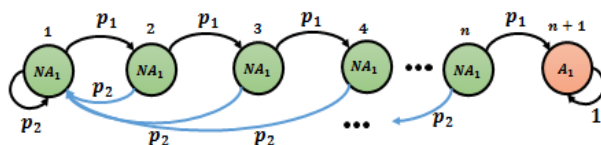


شکل ۶: مدل مارکوف متناظر با شاخص FAR



شکل ۷: مدل مارکوف داده‌های غیر نرمال برای حالت n=1 در سناریوی پیشنهادی n-m-k

شکل ۸: مدل مارکوف متناظر با شاخص MTTA در سناریوی ریست



قضیه ۱:

با توجه به مدل مارکوف رسم شده در شکل ۸، ماتریس گذار حالت P را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت

$$P \quad (23)$$

در این صورت پارامتر AAD به صورت زیر تعریف می‌شود

$$A \quad (24)$$

که در آن h زمان نمونه‌برداری است و

$$M \quad (25)$$

که در اینجا g_{1k} درایه‌های سطر اول ماتریس $G = (I - Q')^{-1}$ است.

اثبات:

اثبات قضیه فوق در مرجع [۱۷] آمده است.

برای نشان دادن درستی قضیه ۱، شاخص AAD در سناریوی ریست را با استفاده از قضیه ۱ محاسبه می‌کنیم. ماتریس گذار حالت در شکل ۸ به صورت زیر می‌باشد

$$\sum_{i=1}^n \quad (16)$$

از حل معادلات (۱۵) و (۱۶)، شاخص FAR به صورت زیر به دست می‌آید:

$$F \quad (17)$$

در شکل ۷، مدل مارکوف متناظر با شاخص MAR برای داده‌های غیر نرمال نشان داده شده است. در این شکل احتمال گذارهای مختلف به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$a \quad (18)$$

که در اینجا، $p(x)$ تابع توزیع احتمال داده‌های غیرنرمال است و

$$a \quad (19)$$

همچنین داریم

$$e \quad (20)$$

که در روابط بالا

$$e \quad (21)$$

به روشی مشابه محاسبه شاخص FAR، شاخص MAR برابر است با

$$M \quad (22)$$

شاخص دیگری که در تحلیل یک سیستم هشدار به کار می‌رود، شاخص AAD است. محاسبه شاخص AAD با استفاده از روش مرجع [۱۱] تا حدودی زمان‌بر و پیچیده است. لذا در این مقاله با استفاده از مفهوم "میانگین زمانی بین خرابی‌های ۱۳" یا MTBF و ماتریس بنیادی ۱۴ [۲۳] در بحث قابلیت اطمینان سیستم‌ها، پارامتر دیگری تحت عنوان MTTA به جای AAD معرفی می‌گردد که در مقایسه با AAD ساده‌تر محاسبه می‌شود. در ادامه پارامتر MTBF معرفی می‌شود.

از آنجاکه پارامتر MTTA بیانگر میانگین زمانی است که سیستم به حالت هشدار می‌رود، در نتیجه مدل مارکوف آن متناظر با قسمتی است که حالت هشدار به هشدار را نشان دهد، یعنی فقط مسیر پیشرو (مسیر بالایی در مدل‌های مارکوف) را در نظر می‌گیریم. در شکل ۸ مدل مارکوف متناظر با پارامتر MTTA برای سناریوی ریست نشان داده شده است. در ادامه پارامتر MTTA را در قالب یک قضیه بیان می‌کنیم.

که همان رابطه (۸) می باشد.

با توجه به مطالبی که در بخش ۴-۱ بیان شد، برای محاسبه شاخص های FAR، MAR و AAD، بایستی ابتدا ماتریس های گذار حالت را تشکیل داده و سپس از روابط (۱۷)، (۲۲) و (۲۴) شاخص ها را محاسبه کرد. با توجه به پیچیدگی مسئله، در این مقاله یک الگوریتم کامپیوتری برای استخراج ماتریس های گذار و محاسبه شاخص های سیستم هشدار ارائه می گردد.

$$P = \begin{bmatrix} Q' & R \\ 0 & I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_2 & p_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ p_2 & 0 & p_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ p_2 & 0 & 0 & p_1 & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_2 & 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ p_2 & 0 & 0 & \ddots & \ddots & p_1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & 0 & p_1 & 0 \\ p_2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & p_1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (26)$$

از قضیه ۱ داریم:

$$G \quad (27)$$

با تعریف بردار $B = [1, 0, \dots, 0]$ و رابطه (۱۷)، داریم

$$B \quad (28)$$

با تعریف بردار $g = BG = [g_1, \dots, g_n]$ که همان سطر اول ماتریس G است داریم که

$$g \quad (29)$$

با استفاده از ماتریس Q' در رابطه (۲۶) و رابطه (۲۹) می توان نوشت

$$\left\{ \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right. \quad (30)$$

از رابطه بالا داریم

$$g \quad (31)$$

از طرفی با استفاده از مجموع n جمله از یک سری هندسی می توان نوشت

$$1 \quad (32)$$

لذا،

$$\left\{ \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right. \quad (33)$$

لذا با توجه به قضیه ۱، شاخص MTTA برابر است با

$$M \quad (34)$$

و یا

$$M \quad (35)$$

بنابراین با توجه به قضیه ۱، با فرض اینکه $h = 1 \text{ Sec}$ باشد، شاخص AAD در سناریوی ریست برابر است با

$$A$$

$$(36)$$

۴-۲-۴ ارائه یک روش کامپیوتری برای محاسبه شاخص های عملکردی

در سناریوی پیشنهادی $n-m-k$

در شکل ۹ مدل مارکوف مربوط به سناریوی $n-m-k$ نشان داده شده است. برای $n \leq 3$ استخراج ماتریس گذار حالت ساده است. برای استخراج ماتریس گذار در سناریوی چند آستانه ای $n-m-k$ با $n \geq 4$ می توان از الگوریتم معرفی شده در روند نمای شکل ۱۰ استفاده کرد. برای تشکیل ماتریس Q_{22} نیز می توان از الگوریتم شکل ۹ با جایگذاری a, q_2, b و c به ترتیب با e, q_1, f و g استفاده کرد. ستون اول ماتریس Q_{12} نیز به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$Q_{12}(:,1) = \begin{bmatrix} \underbrace{0 \dots 0}_{(n-1)} & c & b+c & a+b+c & \underbrace{0 \dots 0}_{(n-2)} & c & b+c & \underbrace{0 \dots 0}_{(n-2)} & c \end{bmatrix} \quad (37)$$

که پارامترهای a, b, c و روابط (۱۰) تعریف می شوند. برای تشکیل ماتریس Q_{21} کافی است که در ماتریس Q_{12} ، به جای a, b و c به ترتیب e, f و g قرار دهیم. بقیه درایه های ماتریس های Q_{12} و Q_{21} صفر می باشند.

برای تشکیل ماتریس گذار P برای محاسبه شاخص MAR و AAD نیز کافی است در ماتریس Q_{11} به جای a, q_2, b و c به ترتیب e, q_1, f و g و در ماتریس Q_{22} به جای e, q_1, f و g به ترتیب e, q_1, f و g قرار دهیم.

با داشتن ماتریس گذار برای حالت عمومی $n \geq 4$ ، می توان شاخص FAR را به صورت زیر محاسبه کرد:

$$A \quad (38)$$

که در رابطه بالا $I_{(3n+1) \times (3n+1)}$ یک ماتریس قطری واحد است. احتمال ماندگار حالات مختلف مدل مارکوف به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$P \quad (39)$$

که در رابطه بالا، $P = [P_1, \dots, P_{2n}]$ که همان بردار احتمال حالت های مدل مارکوف است، $P_0 = [1 \ 0 \dots 0]$ و A_1 همان ماتریس A است

در سناریوی آستانه چندگانه انتخاب مناسب آستانه‌ها در عملکرد سیستم هشدار بسیار مؤثر است. از آنجاکه عملکرد سیستم هشدار با سه شاخص FAR، MAR و AAD تعیین می‌شود، یک‌راه برای تعیین آستانه‌ها استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی و تنظیم آستانه‌ها بر اساس کمینه‌سازی یک تابع هزینه متشکل از شاخص‌های FAR، MAR و AAD می‌باشد. به‌عنوان مثال می‌توان شاخص زیر را پیشنهاد داد.

$$J \quad (45)$$

که در رابطه بالا α ، β و γ اسکالر و مثبت هستند. این پارامترها وزنه‌هایی برای تنظیم اثر شاخص‌ها در تابع هزینه J می‌باشند. از آنجاکه در این مقاله هدف انتخاب بهینه این آستانه‌ها نیست بلکه هدف معرفی یک سناریوی ترکیبی جدید و مقایسه عملکرد آن با سناریوهای موجود می‌باشد. لذا در این مقاله این آستانه‌ها به صورت زیر انتخاب می‌گردند.

فرض کنید x_{tp} آستانه انتخاب شده برای یک سیگنال باشد. همچنین فرض کنید که نواحی بالا و پایین آستانه به سه ناحیه تقسیم گردد. در این صورت نواحی پیشنهادی به صورت زیر است

$$\begin{matrix} H \\ H \\ L \\ L \end{matrix} \quad (46)$$

که در رابطه بالا $x_n(t)$ برابر بخش‌های نرمال سیگنال و $x_a(t)$ بیانگر بخش‌های غیر نرمال سیگنال است. بنابراین $x_{n_{max}}$ بیشترین مقدار داده‌های نرمال و $x_{a_{min}}$ بیانگر کمترین مقدار داده‌های غیر نرمال است. همچنین $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2 > 1$. این آستانه‌ها در شکل ۵ قسمت (ب) نشان داده شده است. حال با انتخاب پارامترهای $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2 > 1$ می‌توان به عملکردهای مختلفی از سناریوی پیشنهادی دست یافت.

که درایه‌های سطر اول آن همگی یک هستند. در نتیجه شاخص FAR برای سناریوی چند آستانه‌ای به صورت زیر محاسبه می‌گردد

$$F \quad (40)$$

برای محاسبه شاخص MAR، کافی است در مدل‌های مارکوف به جای q_1 و q_2 به ترتیب p_1 و p_2 قرار دهیم که p_2 با توجه به رابطه (۲) محاسبه می‌گردد و $p_1 = 1 - p_2$. به روشی مشابه آنچه برای محاسبه FAR بیان شد، می‌توان ماتریس گذار مربوط به شاخص MAR را به صورت زیر به دست آورد

$$P \quad (41)$$

حال تعریف می‌کنیم

$$B \quad (42)$$

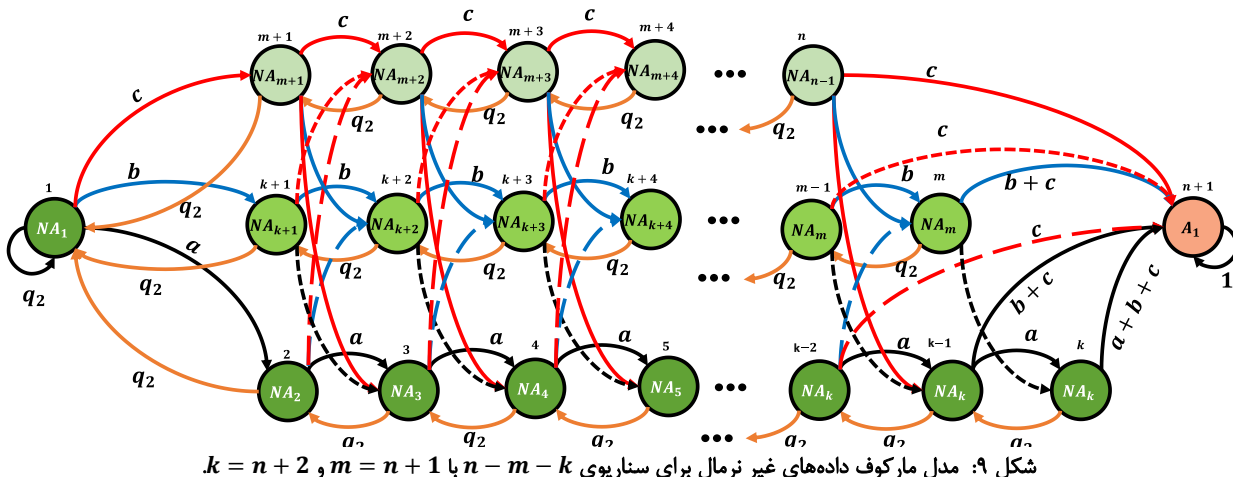
که در رابطه بالا $I_{(3n+1) \times (3n+1)}$ یک ماتریس قطری واحد است. احتمال ماندگار حالات مختلف مدل مارکوف به صورت زیر محاسبه می‌گردد

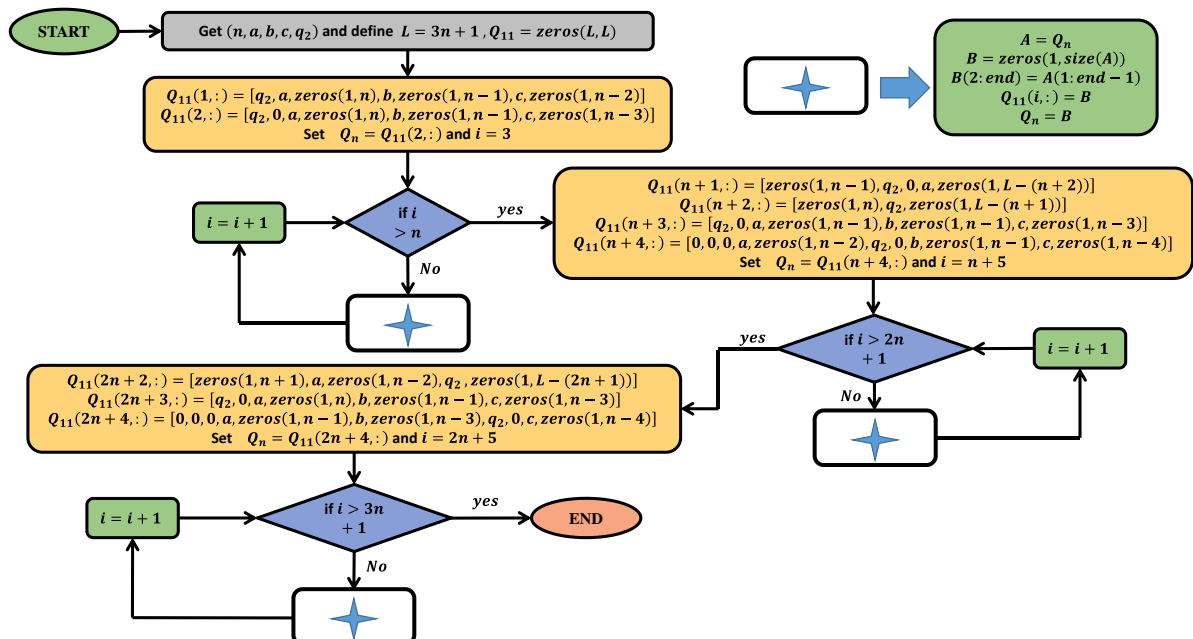
$$P_i \quad (43)$$

که در رابطه بالا، $P_m = [P_{m_1}, \dots, P_{m_{2n}}]$ ، $P_{m_0} = [1 \ 0 \ \dots \ 0]$ ، همان ماتریس B است که درایه‌های سطر اول آن همگی یک هستند. در نتیجه شاخص FAR برای سناریوی پنالتی با n نمونه تأخیر به صورت زیر محاسبه می‌گردد

$$F \quad (44)$$

۳-۴- تعیین آستانه‌های سناریوی پیشنهادی





شکل ۱۰: الگوریتم استخراج ماتریس گذار Q_{11} در سناریوی $n - m - k$ با $n + 1 = m$ و $n + 2 = k$ برای $n \geq 4$.

با استفاده از روابط (۱) و (۲) مقادیر $q_1 = 0.39$ و $p_2 = 0.34$ به دست می‌آید. شکل ۱۱ تحقق رابطه (۶) برای سناریوی ریست و نیز شاخص

۵- نتایج شبیه‌سازی

در این قسمت شاخص‌های عملکردی سناریوهای ریست، m -out-of- n پنالتی و سناریوی پیشنهادی چند آستانه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مثال ۱:

سیگنال فرآیندی به صورت زیر را در نظر بگیرید

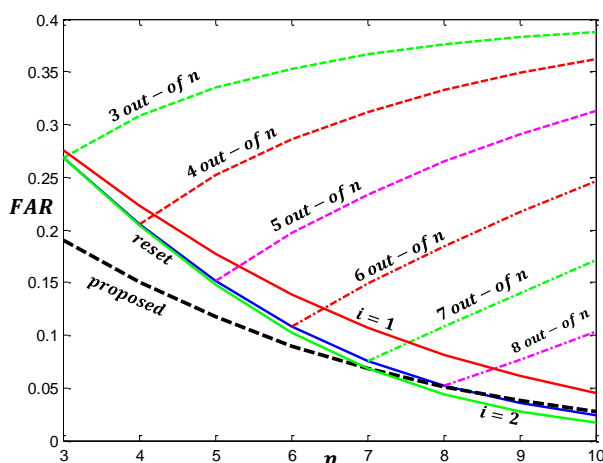
$$x \quad (47)$$

که در آن $N(\mu, \sigma^2)$ بیانگر توزیع نرمال با میانگین μ و واریانس σ^2 است و h زمان نمونه برداری است. فرض کنید که در لحظه $t = 1000h$ که $h = 1 \text{ sec}$ عیبی رخ داده است. بنابراین $x(1:1000)$ داده‌های نرمال و $x(1000:2000)$ غیر نرمال خواهد بود. آستانه بهینه

برای این سیگنال به صورت $x_{tp} = 0.89$ در نظر گرفته شده است [۱۳]. در سناریوی پیشنهادی آستانه‌های سیستم هشدار با انتخاب پارامترهای $\beta_1 = \beta_2 = 2$ و $\alpha_1 = \alpha_2 = 2$ به صورت زیر انتخاب

می‌شوند:

$$\begin{aligned} H \\ H \\ L \\ L \end{aligned} \quad (48)$$

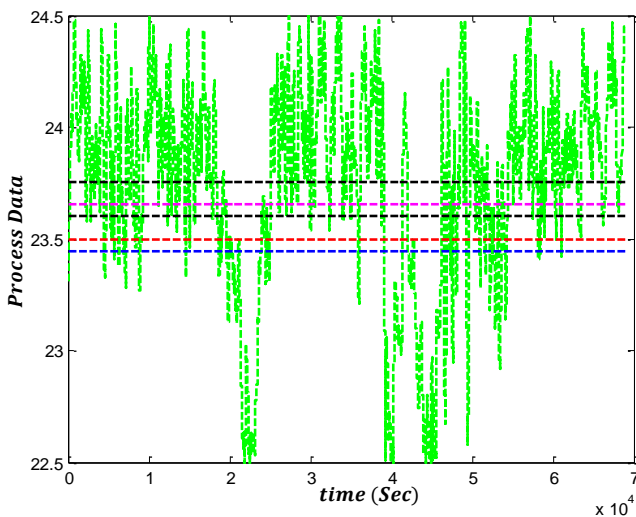


شکل ۱۱: مقایسه شاخص FAR در سناریوهای مختلف

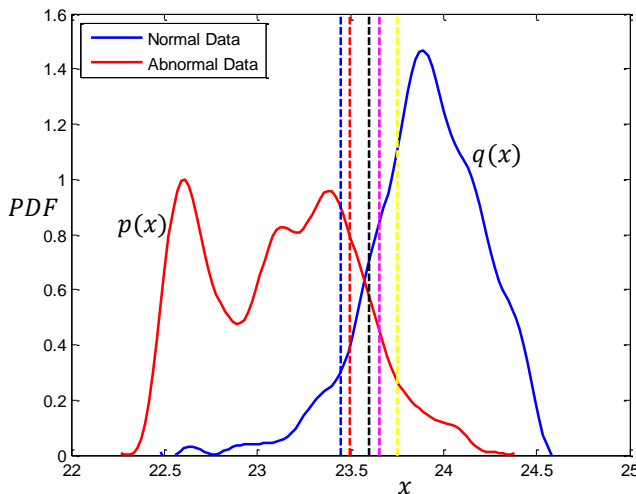
در شکل ۱۳ نیز تأثیر تغییرات تعداد تأخیرها یعنی n در شاخص AAD برای سناریوهای ریست، m out-of- n و سناریوی چند آستانه‌ای نشان داده شده است. از مقایسه نتایج سه سناریوی مورد بررسی می‌توان گفت که عملکرد دو سناریوی m out-of- n و چند آستانه‌ای از

در شکل‌های ۱۱ و ۱۲، تأثیر تغییرات تعداد تأخیر در شاخص‌های FAR و MAR برای سناریوهای ریست، m -out-of- n و سناریوی پیشنهادی چند آستانه‌ای نشان داده شده است.

در این مثال عملکرد سیستم هشدار مبتنی بر سناریوهای مختلف بر روی یک مثال صنعتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مثال داده مربوط به سنسور فشار توربین نیروگاه بخار Weifang Shandong Province کشور چین [۱۱] در نظر گرفته شده است. در شکل ۱۴ داده مربوط به سنسور اندازه‌گیری فشار برای یک بازه زمانی ۱۹ ساعته نشان داده شده است. در این مثال اگر فشار از سطح $x_{tp} = 23.6$ پایین‌تر قرار گیرد، هشدار تولید می‌شود. در شکل ۱۵ توابع توزیع احتمال داده‌های نرمال و غیر نرمال نیز رسم شده است. با انتخاب $\alpha_1 = \beta_1 = 10$ و $\alpha_2 = 5$ و $\beta_2 = 2$ آستانه‌های سناریوی پیشنهادی تعیین می‌گردد. این آستانه‌ها در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ مشخص شده‌اند. در جدول I شاخص‌های FAR، MAR، AAD، MTTA برای سناریوهای ریست، پنالتی، m -out-of- n و سناریوی پیشنهادی چند آستانه‌ای $n/m/k$ با $m = n + 1$ و $k = n + 2$ محاسبه شده است.



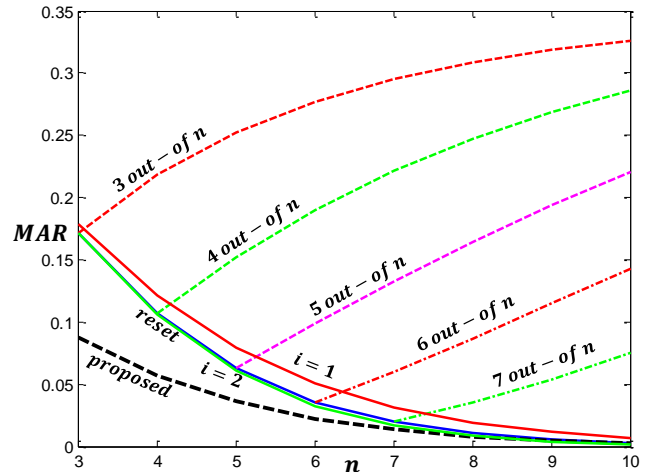
شکل ۱۴: داده مربوط به سنسور فشار در مثال ۲



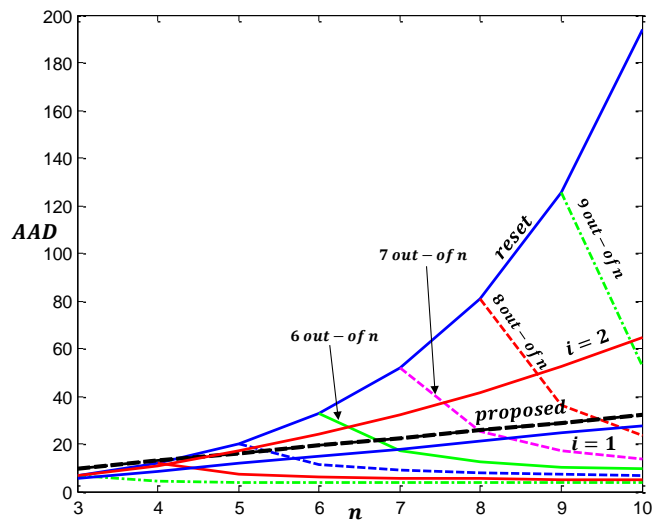
شکل ۱۵: توابع توزیع احتمال داده‌های نرمال و غیر نرمال در مثال ۲

با توجه به نتایج جدول ۱، مشاهده می‌شود که در سناریوی پنالتی با افزایش تعداد پنالتی (i) ، شاخص‌های FAR، MAR، AAD و افزایش می‌یابند. این نتایج برای تعداد تأخیر $n = 4$ به دست آمده است و لذا برای حالت $n - 1 = i = 3$ عملکرد سناریوی پنالتی و ریست باهم

سناریوی ریست بهتر است. اما مشکلی که سناریوی m out-of- n دارد این است که در مقایسه با کاهش شاخص AAD، شاخص‌های FAR و MAR آن بیشتر از مقادیر سناریوی ریست است و با افزایش تعداد تأخیرها (n) هرچند که کاهش شاخص AAD آن چشمگیر است اما در مقابل شاخص‌های FAR و MAR به سمت مقادیر اولیه خود یعنی p_2 و q_1 میل می‌کند که این مطلوب نیست.



شکل ۱۲: مقایسه شاخص MAR در سناریوهای مختلف



شکل ۱۳: مقایسه شاخص AAD در سناریوهای مختلف

اما سناریوی چند آستانه‌ای نه تنها شاخص‌های FAR و MAR را نسبت به سناریوهای ریست و m out-of- n کاهش می‌دهد بلکه شاخص AAD آن نیز در مقایسه با هر دو سناریو در مقدار معقولی قرار دارد. در طراحی سیستم‌های هشدار با آستانه ثابت، توجه به این نکته حائز اهمیت است که اصولاً کاهش مقادیر FAR و MAR با افزایش شاخص AAD همراه خواهد بود و همیشه لازم است بین شاخص‌های عملکردی سیستم هشدار یک مصالحه صورت گیرد.

مثال ۲:

برابر خواهد بود. در سناریوی *m-out-of-n* با افزایش پارامتر m شاخص‌های FAR، MAR و AAD افزایش می‌یابند و برای حالت

جدول ۱: شاخص‌های عملکردی سیستم هشدار در سناریوهای مختلف برای مثال ۲

Various Scenarios		FAR	MAR	AAD	MTTA
penalty	$i = 3$ (reset)	0.00251	0.00102	4.5690	5.5690
		0.00247	0.00100	4.4130	5.4130
		0.00290	0.00116	4.0590	5.0590
<i>m-out-of-n</i>	2-out-of-4	0.04610	0.02860	0.8991	1.8991
	3-out-of-4	0.01160	0.01000	2.8988	3.8988
	4-out-of-4 (reset)	0.00251	0.00102	4.5690	5.5690
<i>n/m/k</i>	$n=1$	0.08830	0.07460	0.3004	1.3004
	$n=2$	0.02680	0.01930	1.6027	2.6027
	$n=3$	0.00670	0.00400	2.9250	3.9250

طراحی سیستم هشدار، ماتریس‌های گذار را تشکیل داده و مقادیر شاخص‌های عملکردی را محاسبه می‌کند.

مراجع

- [1] ISA, (Instrumentation, Systems & Automation Society). "Management of alarm systems for the process industries", North Carolina: ISA 18.02, 2009.
- [2] EEMUA, (Engineering Equipment and Materials Users' Association). "Alarm systems: a guide to design, management and procurement", 3rd ed. London: EEMUA Publication 191, 2013.
- [3] Ahnlund, Jonas, Tord Bergquist, and Lambert Spaanenburg. "Rule-based reduction of alarm signals in industrial control", *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, Vol. 14, No.2, pp.73-84, 2003.
- [4] Brooks, Robin, Richard Thorpe, and John Wilson. "A new method for defining and managing process alarms and for correcting process operation when an alarm occurs", *Journal of hazardous materials*, Vol.115, no.1, pp.169-174, 2004.
- [5] Hugo, Alan. "Estimation of alarm dead-bands", In *Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes*, Vol.42, no.8, pp. 663-667, 2009.
- [6] Wang, Jiandong, and Tongwen Chen. "An online method to remove chattering and repeating alarms based on alarm durations and intervals", *Computers & Chemical Engineering*, Vol.67, no.4, pp.43-52, 2014.
- [7] Liu, Jun, et al. "The intelligent alarm management system", *IEEE software*, Vol.20, no.2, pp.66-71, 2003.
- [8] Srinivasan, R., et al. "Intelligent alarm management in a petroleum refinery: plant safety and environment", *Hydrocarbon processing*, Vol.83, no.11, pp.47-53, 2004.
- [9] Simeu-Abazi, Zineb, Arnaud Lefebvre, and Jean-Pierre Derain. "A methodology of alarm filtering using dynamic fault tree", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol.96, no.2, pp.257-266, 2011.
- [10] Cheng, Yue, Iman Izadi, and Tongwen Chen. "Optimal alarm signal processing: Filter design and performance analysis", *Automation Science and Engineering, IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol.10, no.2 pp.446-451, 2013.
- [11] Xu, Jianwei, et al. "Performance assessment and design for univariate alarm systems based on FAR, MAR, and AAD", *Automation Science and Engineering, IEEE Transactions on Automation science and Engineering*, Vol.9, no.2 pp.296-307, 2012.
- [12] Adnan, Naseeb Ahmed, Yue Cheng, Iman Izadi, and Tongwen Chen. "Study of generalized delay-timers in alarm configuration", *Journal of Process Control* 23, no. 3, pp.382-395, 2013.

در سناریوی آستانه چندگانه یا $n/m/k$ نیز با افزایش تعداد تأخیر یا (n) هر سه شاخص افزایش می‌یابند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی سناریوها، با افزایش تعداد تأخیرهای تایمر تأخیری، افزایش یا کاهش یک شاخص با کاهش یا افزایش شاخص دیگری همراه می‌باشد. لذا در طراحی سیستم‌های هشدار بایستی یک مصالحه‌ای بین شاخص‌های مختلف ایجاد کرد. اگر شاخص AAD و یا MTTA از اهمیت بیشتری برخوردار است، سناریوهای $n/m/k$ با $n = 1$ و یا 2-out-of-4 را می‌توان انتخاب کرد. اما اگر شاخص‌های FAR و MAR مهم هستند می‌توان سناریوی پنهالتی با $i = 2$ را در نظر گرفت.

۶- نتیجه‌گیری

تایمر تأخیری یک روش ساده و مؤثر در طراحی سیستم‌های هشدار به‌منظور کاهش هشدارهای نویزی و ناخواسته در سیستم‌های صنعتی است. در این مقاله عملکرد چهار سناریوی ریست، پنهالتی، m out-of- n و سناریوی پیشنهادی آستانه چندگانه با رویکرد تایمرهای تأخیری موردبررسی قرار گرفته است. در سناریوی آستانه چندگانه با تقسیم نواحی بالا و پایین آستانه به چند ناحیه و تغییر تعداد تأخیرهای تایمر تأخیری در هر ناحیه می‌توان به عملکردهای مؤثرتری نسبت به سناریوهای ریست و m out-of- n دست‌یافت. در این مقاله نواحی بالا و پایین آستانه به سه ناحیه تقسیم شده که تعداد تأخیرهای تایمر تأخیری در این نواحی با سناریوی $n/m/k$ که $m = n + 1$ و معمول تا حدودی پیچیده است، در این مقاله شاخص جدیدی تحت عنوان MTTA و یا "میانگین زمانی رخداد هشدار" معرفی شده است که با استفاده از آن می‌توان به راحتی شاخص AAD را محاسبه کرد. به‌منظور محاسبه شاخص‌های عملکردی در سناریوی چند آستانه‌ای، یک الگوریتم کامپیوتری ارائه شده است که با گرفتن پارامترهای

- configuration." *Journal of Process Control*, Vol.57, no.9, pp.80-101, 2017.
- [19] Afzal, Muhammad Shahzad, Tongwen Chen, Ali Bandehkhoda, and Iman Izadi. "Analysis and design of time-deadbands for univariate alarm systems." *Control Engineering Practice*, Vol.71, no.2, pp.96-107, 2018.
- [20] Xiong, Wanqi, Jiandong Wang, and Kuang Chen. "Multivariate alarm systems for time-varying processes using Bayesian filters with applications to electrical pumps", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol.14, no.2, pp.504-513, 2017.
- [۲۱] مینا سلیم و محمدجواد خسروجردی، «طراحی تخمین گر عیب با استفاده از تکنیک H_{∞} مبتنی بر داده»، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۶، شماره ۴، صفحه ۱۴۷-۱۵۸، ۱۳۹۵.
- [۲۲] مرثی خرم کشکولی و مریم دهقانی، «تشخیص، شناسایی و جداسازی عیب توربین گاز پالایشگاه دوم پارس جنوبی با استفاده از روش‌های ترکیبی داده‌کاوی، k-means، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و ماشین بردار پشتیبان (SVM)»، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۷، شماره ۲، ۱۳۹۶.
- [23] Tchangani, Ayeley, and Daniel Noyes. "Modeling dynamic reliability using dynamic Bayesian networks", *Journal Européen des systèmes automatisés*, Vol.40, no. 8, pp.911-935, 2006.
- [13] Han, Liu, Huihui Gao, Yuan Xu, and Qunxiong Zhu. "Combining FAP, MAP and correlation analysis for multivariate alarm thresholds optimization in industrial process", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol.40, no.3, pp.471-478, 2016.
- [14] Zhang, Kai, Steven X. Ding, Yuri AW Shardt, Zhiwen Chen, and Kaixiang Peng. "Assessment of T 2-and Q-Statistics for Detecting Additive and Multiplicative Faults in Multivariate Statistical Process Monitoring", *Journal of the Franklin Institute*, Vol.354, no.2, pp.668-688, 2016.
- [15] Xu, Xiaobin, Shibao Li, Xiaojing Song, Chenglin Wen, and Dongling Xu. "The optimal design of industrial alarm systems based on evidence theory", *Control Engineering Practice*, Vol.46, no.1, pp.142-156, 2016.
- [16] Wang, Jiandong, Fan Yang, Tongwen Chen, and Sirish L. Shah. "An Overview of Industrial Alarm Systems: Main Causes for Alarm Overloading, Research Status, and Open Problems", *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol.13, no. 2, pp.1045-1061, 2016.
- [۱۷] جعفر طاهری کلانی، کوروش اصلان صفت و غلامرضا لطیف شیبگاهی، «ارائه یک روش سیستماتیک برای طراحی و تحلیل یک سیستم هشدار تک متغیره مبتنی بر سناریوی پناستی»، مجله کنترل، دوره ۱۰، شماره ۴، ۱۳۹۵.
- [18] Zeng, Zhiyong, Wen Tan, and Rong Zhou. "Performance assessment for generalized delay-timers in alarm

زیر نویس‌ها

- ^۱Monitoring
- ^۲Engineering Equipment and Materials Users Association
- ^۳Instrument Signals and Alarms
- ^۴Dead Band
- ^۵Alarm Chattering
- ^۶Run Length
- ^۷Alarm Limits
- ^۸Alarm Filtering
- ^۹False Alarm Rate
- ^{۱۰}Miss Alarm Rate
- ^{۱۱}Average Alarm Delay
- ^{۱۲}Mean Time To Alarm

^۱Mean Time Between Failure (MTBF)^{۱۲}Fundamental Matrix