دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پروژه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکاترونیک

آشکارسازی خطا در فرآیند شیمیایی TE بر مبنای پردازش سیگنال کوانتمی و موجکها

توسط:

آلتای بروسان

استاد راهنما:

دکتر مهدی علیاری شوره دلی

بهار ۱۳۹۱

تأییدیّه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه خانم / آقای:

را با عنوان:

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی/ کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما			
۲- استاد مشاور			
۳- استاد مشاور			
۴- استاد ممتحن			
۵- استاد ممتحن			
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی			

چکیده

در طی سه دهه گذشته روشها و ابزارهای گوناگونی برای شناسایی و کشف خطا در فرآیندها و سیستمهای صنعتی ایجاد و توسعه داده شده اند. در این نوشتار، فرآیند TE بعنوان نمونه ای از یک فرآیند واقعی شیمیای انتخاب شده و ابزارهای جدیدی بر مبنای نظریه پردازش سیگنال کوانتمی و تحلیل موجک برای تشخیص خطا در فرآیند مذکور توسعه داده شده است. در این راستا؛ به دلیل تعداد زیاد سنسورهای فرآیند TE مسئله کاهش پیچیدگی با دو رویکرد تجربی و الگوریتمی مورد مطالعه قرار گرفته است. پس از کاهش پیچیدگی، تشخیص خطا توسط ساختار دو بخشی مبتنی بر نظریه فریم، صورت گرفته است. به فراخور نوع خطاها و شدت پایداری آنها دو پیاده سازی متفاوت از این ساختار ارائه شده است. نتایج بدست آمده حاکی از پتانسل مناسب ساختار جدید برای بکارگیری در زمینه ی تشخیص خطا می باشد.

کلید واژه: شناسایی خطا، تشخیص خطا، پردازش سیگنال کوانتمی، فرآیند شیمیای TE، دسته بندی مبتنی بر فریم، نظریه موجک.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... ج

فهرست شکل ها ..... د

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... و

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۱

۱-۲- تاریخچه کشف خطا ۱

۱-۳- مفاهیم و تعاریف ۲

۱-۴- انواع خطا ۳

۱-۴-۱- خطای ناگهانی ۳

۱-۴-۲- خطای لحظه ای ۴

۱-۴-۳- خطای تدریجی ۵

۱-۵- زیر سیستم شناسایی خطا و ارتباط آن با کنترل کننده ۶

۱-۶- دسته بندی روشهای شناسایی و کشف خطا ۷

۱-۶-۱- روشهای مبتنی بر سیگنال ۸

۱-۶-۲- روشهای مبتنی بر مدل ۸

۱-۷- فرآیند TE ۹

۱-۸- ساختار پایان نامه ۱۴

فصل ۲- آشنای با تبدیل موجک ۱۷

۲-۱- پیشگفتار ۱۷

۲-۲- تبدیل فوریه زمان کوتاه ۱۸

۲-۳- آنالیز چند وضوحه ۲۰

۲-۳-۱- مقدمات ریاضی ۲۰

۲-۳-۲- فضاهای پلکانی و آنالیز چندوضوحه ۲۱

۲-۴- تبدیل موجک پیوسته ۲۵

۲-۴-۱- موجک مادر ۲۶

۲-۵- موجک مادر گسسته ۲۷

۲-۶- کدگذاری زیر-باند ۲۹
۲-۷- تبدیل موجک گسسته ۳۱
۲-۸- انتخاب سنسور با استفاده از تبدیل موجک ۳۲
۲-۹- خلاصه مطالب ۳۵

فصل ۳- پردازش سیگنال کوانتمی ۳۶

۳-۱- پیشگفتار ۳۶
۳-۲- مقدمات مکانیک کوانتم ۳۸
۳-۲-۱- اصول موضوعه ۳۸
۳-۳- عملگرهای اندازه گیری ۴۲
۳-۳-۱- مقدمات ریاضی ۴۳
۳-۳-۲- اندازه گیری کوانتمی ۴۵
۳-۴- فریمهای بسته ۴۷
۳-۴-۱- ساخت فریم های بسته با معیار بهینه سازی کمینه ی مربع خطا ۴۸
۳-۵- دسته بندی کننده های مبتنی بر فریم (کوانتمی) ۵۰
۳-۶- خلاصه مطالب ۵۱

فصل ۴- تشخیص خطا در فرآیند TE ۵۳

۴-۱- پیشگفتار ۵۳
۴-۲- تشخیص خطا ۵۴
۴-۲-۱- تشخیص خطا از دیدگاه مهندسی فرآیند ۵۴
۴-۲-۲- تشخیص خطا از دیدگاه مهندسی سیگنال ۵۵
۴-۳- کاهش بعد در فرآیند TE ۵۹
۴-۳-۱- کاهش بعد با استفاده از دانش فرد خبره ۵۹
۴-۴- شناسایی بهنگامِ خطا های کلاه سفید ۶۵
۴-۴-۱- تشخیص خطا ۶۶
۴-۵- شناسایی بهنگامِ خطا های کلاه سیاه ۶۹
۴-۶- شناسایی نابهنگام خطا ۷۸
خلاصه ی مطالب و نتیجه گیری ۸۲

ضمیمه أ -مدلهای جاینشین ۸۴

فهرست مراجع ۸۶

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱ متغیرهای ورودی و خروجی TE [۲۹] ۱۱
جدول ۱-۲ متغیرهای حالت TE [۲۹] ۱۱
جدول ۱-۳ متغیرهای اندازه گیری شده در بخش های ANALYZER [۲۹] ۱۲
جدول۲-۱ تغییرات ممنتم بر اثر تحلیل موجک ۳۳
جدول۲-۲ سنسور پیشنهاد شده توسط الگوریتم ۳۴
جدول ۴-۱ جدول تشخیص خطا [۳۸] ۵۵
جدول ۴-۲ جدول تشخیص اشتباه [۳۹] ۵۶
جدول ۴-۳ نرخ تشخیص اشتباه [۶] ۵۷
جدول ۴-۴ گراف خطای فرآیند TE ۶۰
جدول ۴-۵ شاخصه های خطا (خانواده ی کلاه سفید) ۶۳
جدول۴-۶ شاخصه های خطا (کلاه سیاه) ۶۴
جدول۴-۷ ماتریس های درهمی دسته بندی کننده ی کوانتمی (خطاهای کلاه سفید) ۶۸
جدول۴-۸ نتایج بررسی خطای شماره ۱۰ ..... ۷۱
جدول۴-۹ نتایج بررسی خطای شماره ۱۱ ..... ۷۲
جدول۴-۱۰ نتایج بررسی خطای شماره ۱۲ ..... ۷۲
جدول۴-۱۱ نتایج بررسی خطای شماره ۱۳ ..... ۷۳
جدول۴-۱۲ نتایج بررسی خطای شماره ۱۴ ..... ۷۳
جدول۴-۱۳ نتایج بررسی خطای شماره ۱۶ ..... ۷۴
جدول۴-۱۴ نتایج بررسی خطای شماره ۱۷ ..... ۷۴
جدول۴-۱۵ نتایج بررسی خطای شماره ۱۸ ..... ۷۵
جدول۴-۱۶ نتایج بررسی خطای شماره ۱۹ ..... ۷۵
جدول۴-۱۷ نتایج بررسی خطای شماره ۲۰ ..... ۷۶
جدول۴-۱۸ نتایج بررسی خطای شماره ۲۱ ..... ۷۶
جدول۴-۱۹ درصد تشخیص اشتباه دسته بندی کننده ی مبتنی بر فریم در مقایسه با سایر الگوریتم ها ۷۷
جدول ۴-۲۰ ماتریس درهمی روش نابهنگام تشخیص خطا ۸۰

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ اثر خطا و شکست بر روی سیستم..... ۳
شکل ۱-۲ اثر یک خطای ناگهانی بر روی یک متغیر سیستم..... ۴
شکل ۱-۳ اثر یک خطای لحظه ای بر روی یک متغیر سیستم..... ۴
شکل ۱-۴ اثر یک خطای تدریجی بر روی یک متغیر سیستم..... ۵
شکل۱-۵ سیستم کنترلی حلقه بسته به همراه بخش بخش تغیر ساختار بهنگام..... ۷
شکل ۱-۶-۱ ساختار کلی روشهای شناسایی خطای مبتنی بر مدل..... ۹
شکل ۱-۷ اجزا و بخشهای فرآیند TE..... ۱۰
شکل ۱-۸ خطا های سیستم TE..... ۱۳
شکل۱-۹ ساختار الگوریتمهای شناسایی خطا با استفاده از داده ها..... ۱۵
شکل ۲-۱ حرکت پنجره در تبدیل فوریه زمان کوتاه..... ۱۸
شکل ۲-۲ تابع پله در حوزه زمان (الف) تبدیل فوریه تابع پله در حوزه فرکانس (ب)..... ۱۹
شکل ۲-۳ (الف) پنجره ای با طول بزرگ اطلاعات دقیقتری از محتوای فرکانسی سیگنال را در اختیار می گذارد (ب) در صورت انتخاب پنجره کوچک بخشی از سیگنال در درون پنجره قرار نخواهد گرفت و به تبع آن اطلاعات زمانی وفرکانسی سیگنال از میان خواهد رفت..... ۱۹
شکل ۲-۴ اندازه پنجره در حوزه ی زمان همواره باید با پدیده ی مورد بررسی همخوانی داشته باشد..... ۲۰
شکل ۲-۵ نمایش تابع f در چند مقیاس با استفاده از توابع پایه ی Haar..... ۲۳
شکل ۲-۶ طیف فرکانسی زیر فضاها..... ۲۳
شکل ۲-۷ هر زیرفضای مقیاس از زیرفضای قبل به همراه جزئیات بیشتر ساخته می شود..... ۲۴
شکل ۲-۸ طیف فرکانسی زیر فضاهای متوالی..... ۲۴
شکل ۲-۹ تبدیل موجک در حوزه ی زمان – مقیاس (الف) و تبدیل فوریه زمان کوتاه (ب) در حوزه ی زمان – فرکانس قرار می گیرند..... ۲۶
شکل ۲-۱۰ تبدیل موجک گسسته دو دویی(dyadic)..... ۲۸
شکل ۲-۱۱ تابع موجک مادر یک فیلتر میانگذر است که با تغییر مقیاس، پهنای باد و مکان آن در حوزه ی فرکانس جابجا می شود..... ۲۹
شکل ۲-۱۲ فیلتر پاین گذر در طراحی تبدیل موجک..... ۳۰

شکل ۲-۱۳ کد گذاری زیر باند ۳۱
شکل۲-۱۴ خطای موقت بر روی یک سیگنال فرضی ۳۲
شکل۲-۱۵ صفحه ی میانگین واریانس در مقیاسهای مختلف برای سنسور Si ۳۳
شکل ۳-۱ سیستم کوانتمی متشکل از تعدادی کمیت مشاهده پذیر ۳۹
شکل ۳-۲ وضعیت شماتیک سکه در حین پرتاب در حالت بینابین شیر و خط ۴۰
شکل ۳-۳ اندازه گیری سکه در دو لحظه ۴۱
شکل ۳-۴ قضیه نویمارک در فضای دو بعدی u ۴۶
شکل ۳-۵ بردارهای فریم ساخته شده ۴۸
شکل ۳-۶ دسته بندی کننده های مبتنی بر فریم ۵۰
شکل ۳-۷ (الف) لایه یک در یک شبکه عصبی (ب) مرحله ی فازی سازی در یک سیستم فازی ۵۱
شکل ۴-۱ اثر خطای لحظه ای، (الف) وضعیت سیستم در شرایط بدون خطا (ب) خطای شماره ۱ در سنسور شماره ۳ ..... ۶۱
شکل ۴-۲ اثر خطای ناگهانی، خطای شماره ۴ در سنسور شماره ۵۱ ..... ۶۲
شکل ۴-۳ اثرخطای تدریجی، خطای شماره ۶ در سنسور شماره ۵۲ ..... ۶۲
شکل ۴-۴ اثر خطا در مقیاسهای کوچک، (الف) وضعیت سیستم در شرایط بدون خطا (ب) خطای ۱۱ در سنسور ۹ ..... ۶۲
شکل۴-۵ فلوچارت الگوریتم تشخیص خطا در خانواده ی کلاه سفید ۶۵
۴-۶ معیار تقویت برداری ملاکی از همبستگی بردارها (الف) بردارها ی کمتر همبسته (ب) بردارها بیشتر همبسته ۶۶
شکل۴-۷ مقدار خروجی دسته بندی کننده ی کوانتمی برای وضعیتهای (الف) خطای یک (ب) خطای دو (پ)خطای چهار (ت) خطای پنج (ث) خطای شش (ج) خطای هفت (چ) خطای هشت ۶۸
شکل ۴-۸ ساختار کوانتمی برای تشخیص خطا در خانواده ی خطاهای کلاه سیاه ۷۰
شکل ۴-۹ ساختار چند سطحی شناسایی خطا با استفاده از مدلهای یکپارچه ۷۹
شکل ۴-۱۰ درصد استفاده از داده های هر یک از انواع خطاها درمدل لایه ی ۴ ..... ۸۰
شکل ۴-۱۱ درصد استفاده از داده های هر یک از انواع خطاها درمدل لایه ی ۵ ..... ۸۰

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
بردار	$\|x\rangle$
موجک مادر	$\psi(x)$

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

برای سیستمهای حلقه بسته وقوع خطا[1]، می تواند منجر به خروج سیستم از شرایط طبیعی وکاهش بازدهی شود. در پاره ای از موارد، تداوم خطا حتی می تواند منتهی به از کار افتادگی کامل سیستم نیز شود. از اینرو شناسایی دقیق و به موقع خطا، می تواند ضریب اطمینان دستگاه، هزینه از کار افتادگی و در نهایت هزینه تولید را به صورت چشمگیری کاهش دهد.

برای دستگاه های پیچیده امروزی، استفاده از روشهای ساده آماری (مانند جداول شوارتز) به تنهایی نمی تواند پاسخگو باشند.[۱] به همین منظور تحقیقات گسترده ای در قالب شناسایی خطا صورت گرفته است که حاصل آن روشهای روزامدی می باشند که امروزه جایگاه خود را در صنعت یافته اند. در این نوشتار سعی بر آن است تا روشی نوین بر اساس نظریات نو برای شناسایی خطا ارائه شود. به برای گستردگی مطالب فرض برآن است که خواننده با مفاهیم اولیه شناسایی خطا (و یا شناسایی الگو[2]) آشنا بوده و از ارائه جزئیات صرف نظر شده است. با این وجود، برای حفظ یکپارچگی مطلب، در ابتدا مروری بر تاریخچه و منابع شناسایی خطا صورت گرفته و سپس در بخش ۱-۷ فرآیند TE معرفی شده است. خوانندگانی که با این مفاهیم آشنا می باشند، می توانند از بخش ۱-۲ الی ۱-۶ صرف نظر کرده و از بخش ۱-۷ مطالعه خود را آغاز نمایند.

۱–۲– تاریخچه کشف خطا

صحت عملکرد و اطمینان از خروجی سیستم ابتدا در اوایل دهه ی ۷۰ میلادی و با دو مورد سانحه ی هوایی به شکل جدی مطرح شدند[۱]. این رویه با قوع حوادثی که منجر به تلفات جانی و مالی سنگین شدند، سرعت بیشتری به خود گرفت. از جمله، سقوط هواپیمای امریکایی به دلیل گیر کردن دم انتهای در سال ۱۹۷۹؛ انفجار موشک آریان ۵ به دلیل وجود یک مشکل نرم افزاری در سال ۹۹۶ ؛ سقوط بمب افکن B12 متعلق به نیروی هوایی امریکا به دلیل تخریب بخش کنترل مرکزی توسط رطوبت هوا در سال ۲۰۰۶ و سایر موارد مشابه همگی باعث افزایش توجهات به این زمینه تحقیقاتی شدند.

---

[1] Fault

[2] Pattern Recognition

در سال ۱۹۹۱ اولین نشست تخصصی کشف و شناسایی خطا[1] در آلمان[2] و در سال ۱۹۹۳ اولین کنفرانس بین المللی در لندن برگزار شدند. در سالهای بعد کنفرانسهای معتبر مانند کنفرانس انجمن مهندسی کنترل آمریکا، انجمن مهندسی کنترل اروپا نیز بخشهای جداگانه ای برای کشف وآشکارسازی خطا در نظر گرفتند.

اگرچه شروع بحث شناسایی خطا با کاربری هوایی بود، اما در سالهای اخیر این علم در زمینه های مختلفی مورد توجه قرار گرفته است. تمام نیروگاه های هسته ای؛ اتوماسیون صنعتی و حتی صنعت خودرو سازی جدید نیز به سمت استفاده از بخش جداگانه ای برای شناسایی خطا در محصولات خود حرکت کرده اند.

۱-۳- مفاهیم و تعاریف

نخستین تلاشها برای استاندارد سازی تعاریف و واژگان توسط IFAC[3] صورت گرفته است. نمایه این مفاهیم وسیع و گسترده می باشد که از میان آنها تنها به بخشی که در این نوشتار مورد استفاده قرار گرفته، بسنده شده است. صورت کامل این نمایه در مراجع [۲و۳] در دسترس می باشد.

تعریف ۱-۱ خطا: عبارت است از هرگونه انحراف غیر مجازِ حداقل یکی از ویژگیهای اساسی و یا متغیر های سیستمی از وضعیت استاندارد/ معمول/قابل قبول می باشد.

تعریف ۲-۱ تشخیص خطا: عبارت است از تلاش در راستای پی بردن به وجود خطا و زمان وقوع آن می باشد.

بر اساس تعریف IFAC، خطا متفاوت از خرابی[4] می باشد. این تفاوت بصورت گرافیکی در شکل ۱-۱ نمایش داده شده است. علاوه بر این، مفاهیمی ازجمله تفکیک[5] و جداسازیی[6] خطا نیز توسط IFAC تعریف شده اند که در این نوشتار مورد استفاده قرار نگرفته اند.

---

[1] Fault Detection

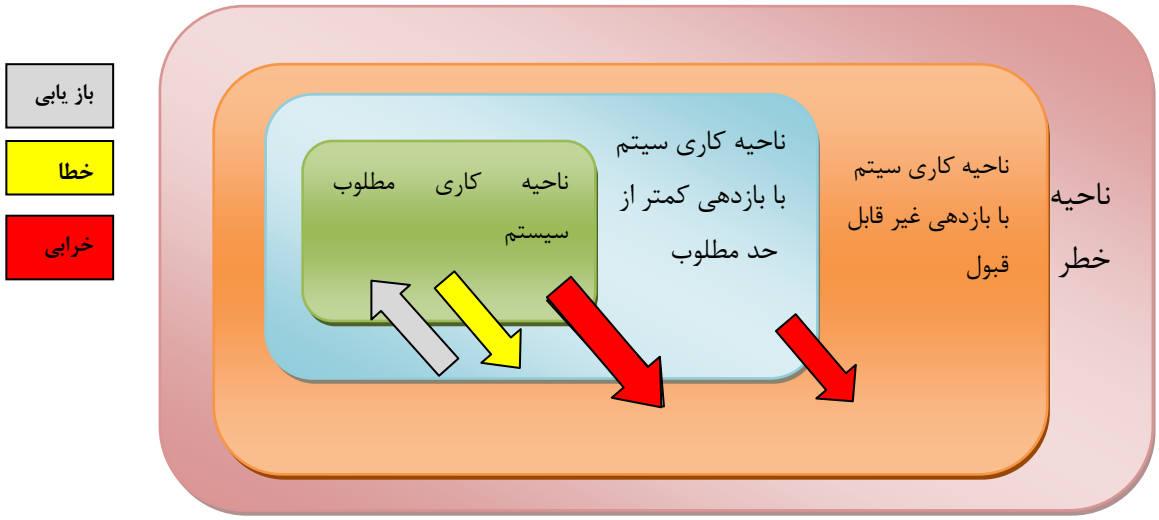
[2] IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes, Baden-Baden, Germany, 1991.

[3] International Federation of Automatic Control

[4] Failure

[5] Fault diagnosis

[6] Fault Isolation



شکل ۱-۱ اثر خطا و شکست بر روی سیستم

وقوع خطا تنها بازدهی سیستم را تا حدودی کاهش می دهد ولی سیستم می- تواند همچنان به کار خود ادامه دهد. این در حالی است که وقوع خرابی، سیستم را در وضعیتی وارد می- سازد که بازدهی آن غیر قابل قبول می باشد. به همین دلیل در تمام سیستم های شناسایی خطا، هدف شناسایی خطا در اسرع وقت و قبل از تبدیل شدن آن به یک خرابی می باشد.

۱-۴- انواع خطا

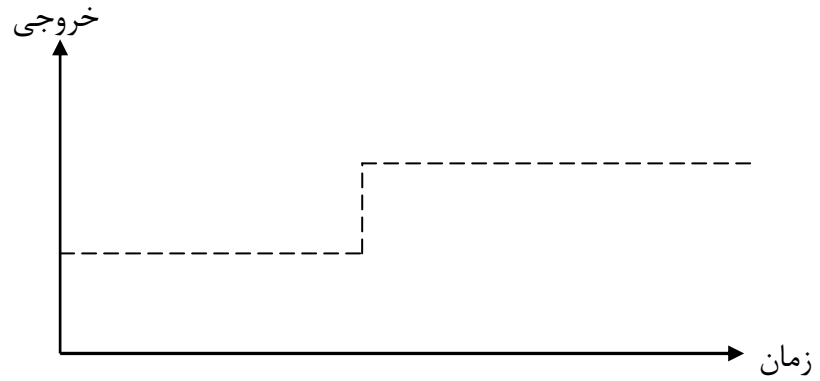
بر اساس تعریف IFAC وقوع خطا اثراتی بر روی متغیر های سیستم می گذارد. کیفیت این اثر می- تواند در زمینه تشخیص خطا بسیارتاثیر گذار باشد. با در نظر گرفتن نوع این اثر، می توان خطا ها را به سه دسته خطاهای ناگهانی[1]، خطاهای تدریجی[2] و خطاهای لحظه ای[3] تقسیم کرد.

۱-۴-۱- خطای ناگهانی

هنگامی که یک خطای ناگهانی صورت می گیرد، یک یا چند متغیر از سیستم بصورت آنی از وضعیت عادی خود خارج شده و دیگر به شرایط اولیه خود باز نمی گردند. شکل۱-۲ بصورت شماتیک این نوع رفتار را نمایش می دهد. این قبیل جهش ها الزاما در دامنه خروجی رخ نمی دهد. برای مثال ممکن است

[1] Abrupt Faults
[2] Incipient Fault
[3] Intermittent Faults

فرکانس نوسانات یک متغیر، تحت خطای ناگهانی از وضعیت خود خارج شده و دیگر به حالت عادی باز نگردد.

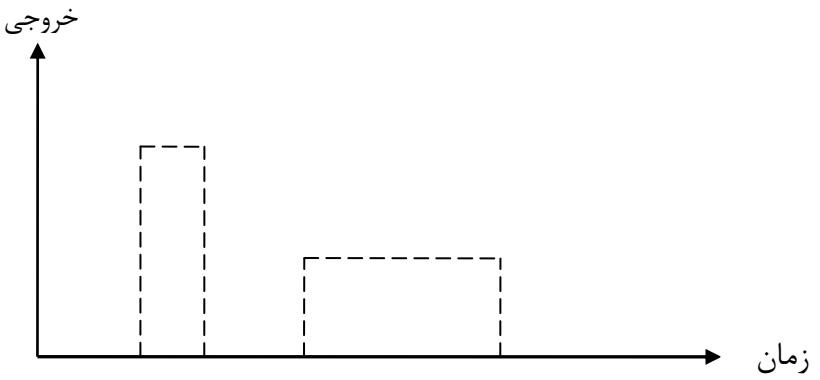


شکل ۱-۲ اثر یک خطای ناگهانی بر روی یک متغیر سیستم

عوامل خارجی از قبیل نویز و اغتشاش نیز می توانند باعث ایجاد پرشهای در سیستم شوند، اما معمولا این پرشها بصورت لحظه ای بوده و به سرعت از بین می روند. علاوه بر این، معمولا شدت تاثیر عواملی مانند نویز و اغتشاش نسبت به خطا بسیار کوچکتر می باشند. به همین دلیل، این قبیل از خطاها نسبت به سایر انواع خطاها ساده تر قابل شناسایی هستند.

۱-۴-۲- خطای لحظه ای

این خطاها بصورت لحظه ای برای مدتی یک یا چند متغیر سیستم را از وضعیت طبیعی خود خارج می سازد اما پس از این مدت، متغیر به وضعیت طبیعی خود دوباره باز میگردد. این اتفاق ممکن است چندین بار و هر بار با شدت های متفاوتی رخ دهد. فاصله زمانی وقوع می تواند منظم یا بدون هیچ گونه نظم خاصی باشد. شکل ۱-۳ بصورت شماتیک رفتار این نوع خطا را نمایش می دهد.



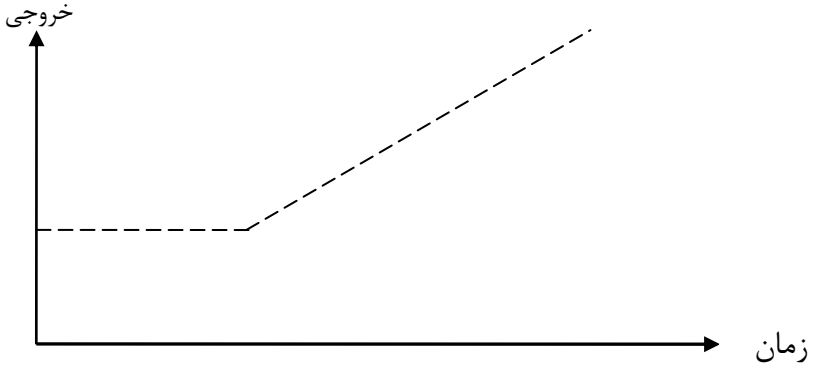
شکل ۱-۳ اثر یک خطای لحظه ای بر روی یک متغیر سیستم

در این نوع از خطاها نیز تغییرات تنها محدود به دامنه نمی باشد. بلکه عوامل دیگری مانند شدت نوسانات متغیرها و یا فاز آنها نیز ممکن است تحت تاثیر خطا قرار بگیرند. در هر صورت، این تاثیرات بصورت لحظه ای در سیستم رویت شده و پس از مدتی محو می شوند.

قابلیت تشخیص این نوع از خطا ها معمولا به نوع خطا و کیفیت اثر آن بستگی دارد. اگر دامنه اثر و مدت تاثیر خطا بگونه ای باشند که بتوان آنها را از تاثیرات احتمالی نویز و اغتشاش جدا نمود، آنگاه می - توان این نوع از خطا ها را به راحتی شناسایی نمود.

۱-۴-۳- خطای تدریجی

همانگونه که از نام این خطا نیز بر می آید، این نوع خطا بصورت تدریجی یک یا چند متغیر را از وضعیت طبیعی خود خارج می نماید. به علت اینکه خطا بصورت تدریجی اثر خود را نشان می دهد، این نوع خطا عموما سخت ترین نوع خطا در زمینه شناسایی می باشند. شکل ۱-۴ رفتار شماتیک این خطا را نمایش می دهد.



شکل ۱-۴ اثر یک خطای تدریجی بر روی یک متغیر سیستم

علاوه بر شکل اثر، خطا ها را نسبت به مکان وقوع آنها (سیستم، سنسور،کنترل کننده) نیز می توان دسته بندی نمود. مکان وقوع خطا می تواند در انتخاب روش شناسایی خطا بسیار تاثیر گذار باشد. اما به دلیل آنکه مطالعه دقیق این بحث خارج از حوزه ی این نوشتار می باشد بیش از این به این موضوع پراخته نشده است. خواننده علاقه مند می تواند به مراجع[۴و۵] برای مطاله بیشتر مراجعه نماید.

بسیاری از محققان مطالعات نظری و عملی تشخیص خطا را بدون در نظر گرفتن نوع آن انجام داده و یا می دهند. علی رغم این رویه غالب علمی به نظر می رسد که انتخاب استراتژی تشخیص خطا متناسب با نوع آن می تواند کاهش چشمگیری در هزینه محاسبات و پیاده سازی به همراه داشته باشد. در این

نوشتار بر این اصل اتکا شده و همانطور که خواهیم دید، روش معرفی شده بر مبنای نوع خطا بنا نهاده شده است.

۱–۵– زیر سیستم شناسایی خطا و ارتباط آن با کنترل کننده

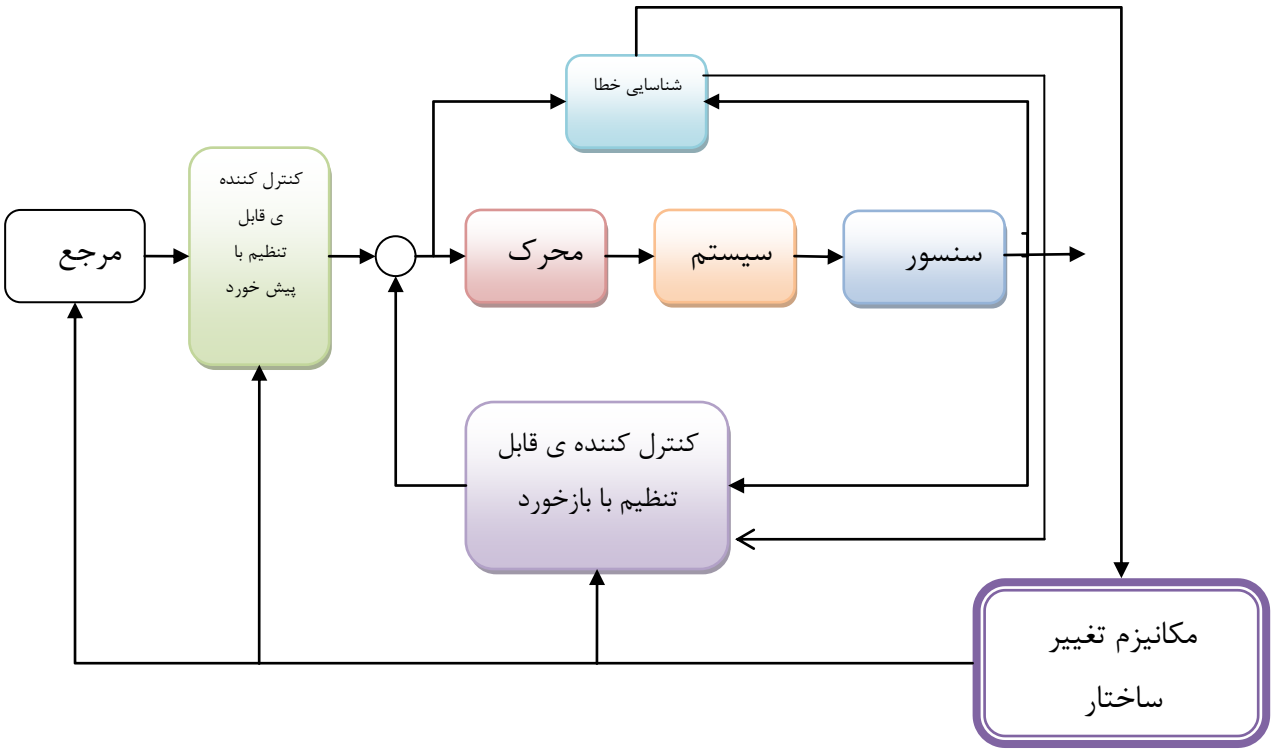
در غالب سیتمهای کنترلی بخش تشخیص و شناسایی خطا بصورت جداگانه در کنار حلقه کنترلی قرار می گیرد. به این ترتیب سیستم از دو بخش کنترل و اداره خطا و نیز همکاری آنها با یکدیگر برای حفظ پایداری در شرایط مختلف بهره می برد. ارتباط این دو بخش از آنرو حائز اهمیت است که ساختار همکاری این بخشها در کارایی هر دو، کنترل کننده و اداره خطا؛ تاثیرگذار می باشد.

بصورت کلی سیستمهای کنترلی که در آنها بخش شناسایی خطا وجود دارند را می توان به دو دسته فعال[۱] و غیر فعال[۲] تقسیم کرد. در ساختار غیر فعال، کنترل کننده بگونه ای طراحی می شود تا در برابر برخی از خطاها تا حدودی مقاوم باشد. در این ساختار نیازی به وجود بخش جداگانه منیتورینگ و یا تغییر کنترل کننده نمی باشد.

در مقابل، در سیستم های فعال در صورت به وجود آمدن خطا در سیستم پیکربندی کنترل کننده تغییر می یابد تا پایداری و بازدهی سیستم حفظ شود. در برخی از شرایط نیز کنترل کننده، بگونه ای تغییر می یابد که سیستم بتواند همچنان به فعالیت خود ادامه دهد. یکی از اهداف سیستمهای کنترلی مقاوم در برابر خطا، ایجاد یکپارچگی و امکان تغییر بهنگام[۳] کنترل کننده به شرط حفظ پایداری سیستم می باشد. کنترل کننده باید بگونه ای طراحی شود تا پاسخ گذرا و پایدار سیستم در صورت وجود و یا عدم وجود خطا همواره قابل قبول باشد. لازم به تذکر است که "قابل قبول" بودن برای شرایط عاری از خطا و هنگامی که خطای در سیستم رخ می دهد کاملا متفاوت است. در شرایط کار طبیعی، تلاش کنترل کننده بیشتر بر کیفیت پاسخ متمکز می باشد ولی در شرایط وجود خطا ادامه فعالیت سیستم موضوع اصلی می باشد که کنترل کننده در سدد دستیابی به آن می باشد. در شکل ۱-۵ ساختار و ارتباطات دخلی کنترل کننده و بخش شناسایی خطای یکپارچه نمایش داده شده است. در این شکل زیر مکانیزم تغییر ساختار بگونه ای است که اهداف زیر را براورده سازد:

- پیکربندی بخش کنترل کننده باید بصورت بهنگام صورت بگیرد.

[1] Active
[2] Passive
[3] Online



شکل۱-۵ سیستم کنترلی حلقه بسته به همراه بخش بخش تغیر ساختار بهنگام

- فرآیند پیکربندی باید بصورت خودکار و با حد اقل مداخله انسانی صورت بگیرد.
- سیستم همواره پایدار باقی بماند.

۱-۶- دسته بندی روشهای شناسایی و کشف خطا

به صورت تاریخی، اولین راهکارها در مواجه با خطا بر اساس افزونگی سخت[1] افزاری استوار بودند[۶]. در این روش از هر بخش از سیستم چندین نسخه تهیه می شود تا به این ترتیب در صورتی که خرابی یا عیبی رخ دهد، بخش کمکی جایگزین بخش معیوب شود. تقریبا بلافاصله متخصصین متوجه شدند که این روش همواره قابل استفاده نیست. برای مثال تهیه چندین نسخه از بخش کنترل بال در یک هواپیما وزن هماپیما را به شکل قابل ملاحظه ای افزایش می دهد. در این حین با آشکار شدن قابلیتهای سیستمهای کنترلی مبتنی بر میکرو کنترلرها، تمایل از افزونگی سخت افزاری به افزونگی نرم افزاری[2] تغیر کرد. در افزونگی نرم افزاری چندیدن نسخه تحلیلی از سیستم در وضعیت های مختلف تهیه شده و

[1] Hardware redundancy
[2] Software redundancy

بر اساس خروجی های مدلها، تصمیم مناسب اخذ می شود. به این ترتیب هر دو مشکل هزینه و محدودیت فضا نیز بر طرف می شوند.

با توجه به اطلاعاتی که از سیستم در اختیار می باشد، می توان روشهای شناسایی و کشف خطای نرم -افزاری را به دو خانواده مبتنی بر سیگنال[1] و مبتنی بر مدل[2] تقسیم کرد.

۱-۶-۱- روشهای مبتنی بر سیگنال

در این روشها اطلاعات ای که از سیستم در اختیار است، محدود به تعدادی سیگنال می باشند که از سیستم در طول کار نمونه برداری شده است. این سیگنال ها عموما از تمام و یا تعدادی از ورودی ها، خروجی ها و متغیرهای حالت بدست می آیند. عموما، این داده ها در بسته های جداگانه با عناوین داده های یادگیری و داده های آموزش بسته بندی می شوند. طراحان با استفاده از بسته های یادگیری الگوریتم ها وساختارهای خود را توسعه داده و سپس با استفاده از داده های آموزش کارایی الگوریتم خود را در مواجه با داده های جدید می سنجند.

از آن روی که اطلاعات موجود از یک سیستم در روش های مبتنی بر سیگنال تنها محدود به تعداد مشخصی نمونه می باشد، توانایی الگوریتمهای بکار رفته به عواملی از قبیل تعداد نمونه ها، کیفیت نمونه ها، نویز موجود در نمونه ها و پیچیدگی سیستم مورد بررسی، وابسته خواهد بود. به عبارت دیگر، مشکل اساسی این روشها وابستگی بالا به کیفیت داده می باشد. ممکن است چند نوع خطا به یک صورت خود را در سیگنال های اندازه گیری شده نمایش دهند. از طرفی کاربری بهنگام محدودیت دیگری است که برخی از الگوریتمهای این خانواده را در پاره ای از مواقع غیر قابل استفاده می نمایند.

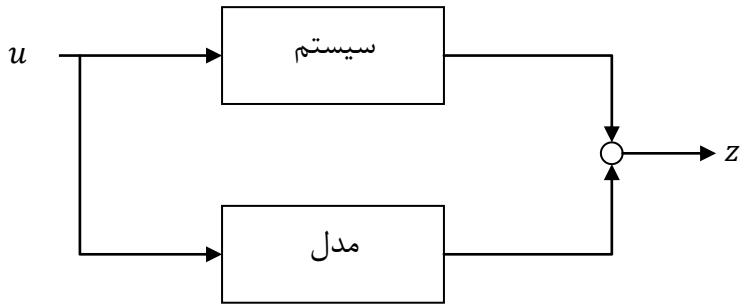
در مقابل تمام این مشکلات، روشهای که تنها بر مبنای داده های سیستم می باشند، معمولا با کمترین هزینه و تلاش قابل پیاده سازی می باشند. به همین دلیل نیز این روشها بصورت گسترده ای در صنایع و سایر کاربردها از قبیل شناسایی الگو، شناسایی سیستم، پردازش سیگنال های بیومدیکال، پردازش سیگنال های ژئودزی، یادگیری ماشین و غیره بکار می روند.

۱-۶-۲- روشهای مبتنی بر مدل

در این روش با انجام تحلیل های دقیق ریاضیاتی و فیزیکی مدلی از سیستم تهیه می شود. با استفاده از این مدل می توان خروجی های طبیعی سیستم را مشخص کرد. اختلاف مقادیر واقعی و مقادیر تولید

[1] Signal base
[2] Model base

شده توسط مدل، مانده[1] نامیده می شود. با استفاده از این مانده ها می توان وقوع خطا و نوع آن را به دقت مشخص نمود. شکل ۱-۶ ایده ی کلی روشهای مبتنی بر مدل را نمایش می دهد. در این شکل متغیر z نقش مانده را ایفا می نماید.



شکل ۱-۶-۱ ساختار کلی روشهای شناسایی خطای مبتنی بر مدل

بر خلاف روشهای مبتنی بر داده، روشهای مبتنی بر مدل بصورت دقیقتری زمان وقوع و نوع خطا را مشخص می نمایند[۴]. قبل از ورود تکنیکهای مبتنی بر محاسبات نرم[2] به عرصه ی شناسایی خطا، روشها مبتنی بر مدل به خوبی بر روی سیستم های خطی و غیرخطی ساده بکار گرفته شده اند. با راهیابی روشهای مبتنی بر محاسبات نرم، ابزارهای مبتنی بر مدل نیز جایگاه خود را در بررسی سیستم های غیر خطی بیش از پیش یافتند[۵].

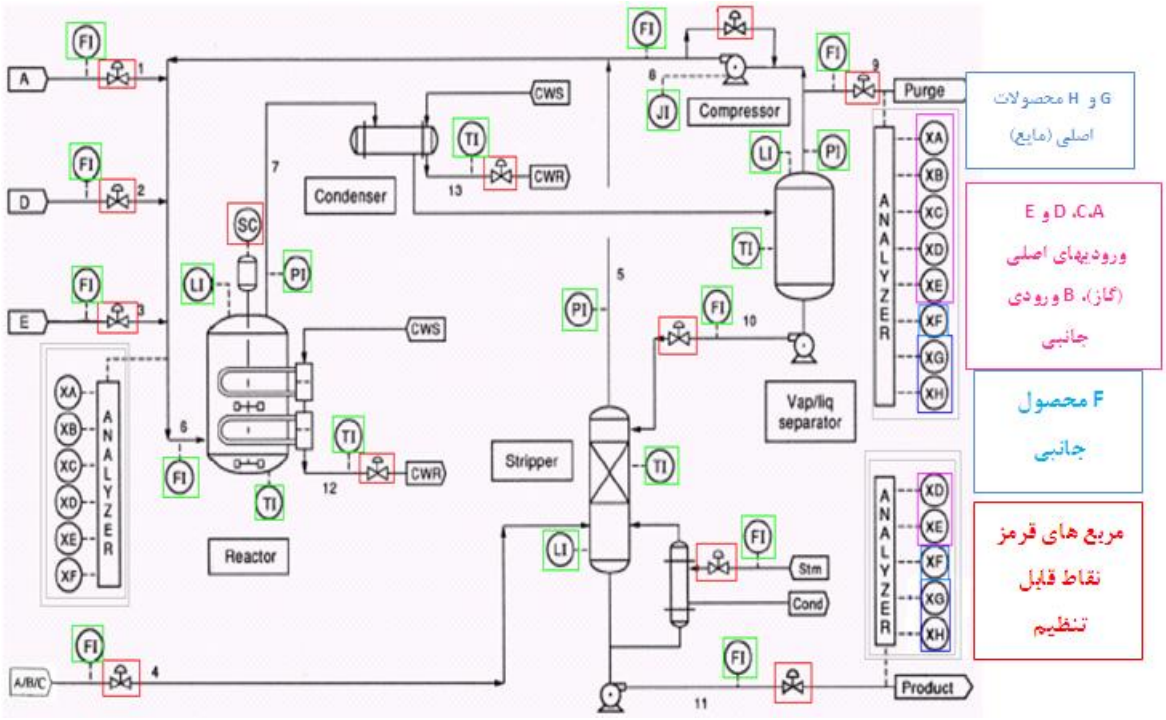
۱-۷- فرآیند TE[3]

بسیاری از نو آوریهای ارائه شده در حیطه شناسایی خطا ابتدا و پیش از پیاده سازی واقعی، بر روی نرم افزارهای شبیه سازی آزمایش شده و سپس بر روی سیستم های واقعی پیاده سازی می شود. بنابر پاره ای از ملاحظات، معمولا این نرم افزارهای شبیه سازی بصورت عمومی در اختیار محققان قرار نمی-گیرند. بر خلاف این رویه، پاره ای از محیط های شبیه سازی نیز وجود دارند که بصورت آزاد در اختیار

[1] Residual
[2] Soft Computing
[3] Tennessee Eastman (TE) process

عموم قرار گرفته اند تا در زمینه های تحقیقاتی خود از آن استفاده نمایند. به این دلیل، برای آزمودن عملکرد روشهای که در فصول آتی پیشنهاد داده شده اند فرآیند TE انتخاب شده است.

محیط شبیه ساز فرایند TE توسط کمپانی ای با همین عنوان در سال ۱۹۹۲ برای مقایسه و ارزیابی روشهای مختلف کنترلی و مانیتورینگ ارائه شد. این محیط بر مبنای تغییرات جزئی در کینتیک[1]، اجزا و شرایط کاری کارخانه تهیه شده است. کارخانه متشکل از پنج بخش اصلی **reactor**, **condenser**, **separator**, **stripper** **compressor** و پنج نوع ورودی- خروجی (اصلی و جانبی) A,B,C,D,E,F,G,H می باشد. ارتباط میان اجزا و نحوه ی اعمال ورود و خروج سیستم در شکل ۱-۷ نمایش داده شده است.



شکل ۱-۷ اجزا و بخشهای فرآیند TE

در محیط شبیه سازی، ورودیها و خروجی ها (اصلی و جانبی) در دوازده مکان با فاصله زمانی ۳ دقیقه، نمونه برداری شده اند. در شکل ۱-۷ این نقاط با مربع های قرمز رنگ مشخص شده اند. علاوه بر این، از ۲۲ متغیر دیگر سیستم که در شکل فوق بصورت مربع های سبز رنگ مشخص شده اند با فاصله زمانی ۳ دقیقه نمونه برداری صورت گرفته است. جداول ۱-۱، ۱-۲ شرح دقیق متغیرها و زمان نمونه برداری را نمایش می هد.

[1] Kinetic

جدول ۱-۱ متغیرهای ورودی و خروجی TE [۲۹]

متغیر	توضیحات	زمان نمونه برداری
XMV(1)	D Feed Flow (stream 2)	**3 min**
XMV(2)	E Feed Flow (stream 3)	**3 min**
XMV(3)	A Feed Flow (stream 1)	**3 min**
XMV(4)	Total Feed Flow(stream 4)	**3 min**
XMV(5)	Compressor Recycle Valve	**3 min**
XMV(6)	Purge Valve (stream9)	**3 min**
XMV(7)	Separator Pot Liquid Flow (stream 10)	**3 min**
XMV(8)	Stripper Liquid Product Flow(stream 11)	**3 min**
XMV(9)	Stripper Steam Valve	**3 min**
XMV(10)	Reactor Cooling Water Flow	**3 min**
XMV(11)	Condenser Cooling Water Flow	**3 min**
XMV(12)	Agitator Speed	**3 min**

جدول ۱-۲ متغیرهای حالت TE [۲۹]

متغیر	توضیحات	زمان نمونه برداری
XMEAS(1)	A Feed (stream 1)	**3**
XMEAS(2)	D Feed (stream 2)	**3**
XMEAS(3)	E Feed (stream 3)	**3**
XMEAS(4)	Total Feed (stream 4)	**3**
XMEAS(5)	Recycle Flow (stream 8)	**3**
XMEAS(6)	Reactor Feed Rate (stream 6)	**3**
XMEAS(7)	Reactor Pressure	**3**
XMEAS(8)	Reactor Level	**3**
XMEAS(9)	Reactor Temperature	**3**
XMEAS(10)	Purge Rate (stream 9)	**3**
XMEAS(11)	Product Sep Temp	**3**