

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

**پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق – کنترل**

**شناسایی و تشخیص عیب عدم تعادل شعله در محفظه‌ی احتراق توربین گازی V94.2 با**

**استفاده از داده‌های خروجی**

**توسط:**

**سارا حجتی‌نیا**

**استاد راهنما:**

**پروفسور علی خاکی صدیق**

**استاد مشاور:**

**دکتر مهدی علیاری شوره‌دلی**

این پروژه تحت حمایت مالی شرکت مپنا انجام گرفته است.

**زمستان ۱۳۹۱**

## تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه خانم : سارا حجتی نیا

را با عنوان: شناسایی و تشخیص عیب عدم تعادل شعله در محفظه‌ی احتراق توربین گازی V94.2 با استفاده از داده‌های خروجی

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

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	پروفسور علی خاکی صدیق	استاد	
۲- استاد مشاور	دکتر مهدی علیاری شوره‌دلی	استادیار	
۳- استاد ممتحن	دکتر حمیدرضا مومنی	دانشیار	
۴- استاد ممتحن	پروفسور حمیدرضا تقی‌راد	استاد	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی	پروفسور حمیدرضا تقی‌راد	استاد	

تقدیم به عزیزانہ

آنان کہ صبر و محبتشان

نہ همراه، کہ پیشاپیش هموارساز راهم بود.

## تشکر و قدردانی

با سپاس فراوان از استاد راهنمای فرهیخته‌ام، جناب آقای پروفسور علی خاکی صدیق، که در طول انجام این پایان‌نامه، از رهنمودهای علمی و اخلاقی ایشان بهره‌مند شدم. از جناب آقای دکتر مهدی علیاری شوره‌دلی، استاد مشاور، به خاطر رهنمودهای ارزشمندشان بسیار سپاسگزارم.

از ناظر محترم پروژه از شرکت مینا، جناب آقای مهندس ایمان یوسفی، کمال قدردانی و تشکر دارم. همچنین از اساتید بزرگوار، جناب آقای دکتر حمیدرضا مومنی و جناب آقای پروفسور حمیدرضا تقی‌راد که زحمت داوری پایان‌نامه را عهده‌دار بودند، متشکرم.

## چکیده

در این پایان‌نامه مدل سیمولینکی ساده شده برای توربین گازی پرکاربرد در کشور یعنی توربین گازی V94.2 ساخت شرکت زیمنس، با استفاده از داده‌های عملکردی و واقعی در دسترس ارائه شده است. داده‌های واقعی توربین از طریق شرکت مپنا تأمین شده‌اند. مدل مذکور بر اساس ساختار مدل روون توربین گازی است. یکی از عیب‌های مهم توربین گازی که کمتر به آن پرداخته شده، عیب شعله است. عیوب شعله در اثر عوامل مختلفی نظیر عدم تعادل نسبت سوخت به هوا در ورودی محفظه‌ی احتراق و عدم پاشش متقارن سوخت در سوخت‌پاش‌ها به وقوع می‌پیوندند. از اثرات ناشی از عیب‌های شعله، می‌توان به افزایش میزان آلاینده‌های خروجی از محفظه، ناپایداری احتراق و فشارهای اکوستیک اشاره کرد. از بین عیوب شعله و اثرات مختلف ارائه شده ناشی از این عیوب، عیب عدم تعادل نسبت سوخت به هوا قابلیت شبیه‌سازی در مدل مذکور به‌دست آمده را دارد. سیستم توربین گازی در حالت عملکرد طبیعی و معیوب برای سناریوهای مختلف سرعت روتور، شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی تشخیص عیب را در زمان وقوع نشان می‌دهد.

**کلید واژه:** توربین گازی، V94.2، مدل روون، عیب شعله، ناپایداری احتراق.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ج	فهرست جدول‌ها
ح	فهرست شکل‌ها
۱	فصل ۱- مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه‌ای بر تشخیص عیب
۵	۱-۱-۱- انواع عیب
۷	۱-۱-۲- دسته‌بندی روش‌های تشخیص عیب
۷	۱-۲-۱-۱- افزودنی سخت‌افزاری
۸	۱-۲-۱-۲- آزمایش قوانین فیزیکی
۸	۱-۲-۱-۳- روش‌های مبتنی بر سیگنال
۹	۱-۲-۱-۴- روش‌های مبتنی بر مدل
۱۰	۱-۲-۲- مقدمه‌ای بر توربین‌های گازی
۱۱	۱-۲-۲-۱- اصول عملکرد توربین گازی
۱۲	۱-۲-۲-۱-۱- بررسی سیکل ترمودینامیکی
۱۴	۱-۲-۲-۱-۲- ساختمان و اجزا
۱۴	۱-۲-۲-۱-۳- ورودی هوا
۱۵	۱-۲-۲-۱-۴- کمپرسور
۱۶	۱-۲-۲-۱-۵- اتاق احتراق
۱۷	۱-۲-۲-۱-۶- توربین
۱۸	۱-۲-۲-۱-۷- اگزوز
۱۸	۱-۳-۱- عیوب توربین گازی
۱۹	۱-۳-۱-۱- عیوب ارتعاشی توربین گاز
۱۹	۱-۳-۱-۱-۱- خمیدگی روتور
۱۹	۱-۳-۱-۱-۲- سایش و لقی اجزا
۱۹	۱-۳-۱-۱-۳- ترک شفت
۲۰	۱-۳-۱-۱-۴- ناپایداری ناشی از سیال
۲۰	۱-۳-۱-۲- عیوب عملکردی توربین گاز
۲۰	۱-۳-۱-۲-۱- رسوب گرفتگی
۲۰	۱-۳-۱-۲-۲- خوردگی

- ۳-۲-۳-۱- سایدگی ..... ۲۱
- ۴-۲-۳-۱- عیوب فیلتر ..... ۲۱
- ۵-۲-۳-۱- عیوب موجود در اجزای جانبی توربین گازی ..... ۲۱
- ۳-۳-۱- پایش وضعیت محفظه‌ی احتراق ..... ۲۲
- ۴-۱- روند ارائه‌ی مطالب پایان‌نامه ..... ۲۲
- ۵-۱- انتشارات ..... ۲۳

## فصل ۲- آلاینده‌های ناشی از احتراق، ناپایداری احتراق و نوسانات ترموآکوستیک در توربین

- گازی ..... ۲۵
- ۱-۲- احتراق و آلاینده‌های ناشی از آن در توربین گازی ..... ۲۵
- ۱-۱-۲- موتورها ..... ۲۵
- ۲-۱-۲- محفظه‌ی احتراق ..... ۲۶
- ۱-۲-۱-۲- انواع اتاق احتراق ..... ۲۷
- ۳-۱-۲- آلاینده‌های خروجی از نیروگاه گازی ..... ۲۷
- ۱-۳-۱-۲- مکانیسم‌های تولید  $NOx$  ..... ۲۸
- ۴-۱-۲- سیستم‌های پایش انتشار آلاینده و احتراق ..... ۳۲
- ۱-۴-۱-۲- سیستم پایش احتراق ..... ۳۳
- ۲-۴-۱-۲- سیستم پایش آلاینده ..... ۳۴
- ۳-۴-۱-۲- سیستم‌های پایش ارتعاش و مکانیکی ..... ۳۵
- ۵-۱-۲- مدل‌های تجربی و نیمه‌تجربی انتشار آلاینده ..... ۳۵
- ۱-۵-۱-۲- مدل انتشار نیمه تجربی ..... ۳۶
- ۲-۵-۱-۲- مدلی دیگر برای انتشار آلاینده  $NOx$  ..... ۳۶
- ۳-۵-۱-۲- مدل انتشار تجربی ..... ۳۷
- ۲-۲- بررسی ناپایداری احتراق و اثرات آکوستیک در توربین گاز ..... ۳۸
- ۱-۲-۲- تاریخچه‌ی ناپایداری احتراق ..... ۴۱
- ۲-۲-۲- روش‌های بررسی ناپایداری احتراق ..... ۴۳
- ۳-۲-۲- بررسی عوامل ناشی از نوسانات ترموآکوستیک ..... ۴۴
- ۱-۳-۲-۲- بررسی اثرات نوسانات جریان و فشار محفظه بر عمر محفظه و لاینر ..... ۴۴
- ۲-۳-۲-۲- بررسی اثرات نوسانات حرارت آزاد شده بر عمر محفظه و لاینر ..... ۴۵
- ۳-۳-۲-۲- انواع اثرات مخرب ناپایداری احتراق بر محفظه ..... ۴۵
- ۴-۲-۲- روش‌های تشخیص ناپایداری احتراق ..... ۴۶
- ۳-۲- نتیجه‌گیری ..... ۴۷
- فصل ۳- عیب عدم تقارن در پاشش سوخت سوخت‌پاش‌ها در توربین گازی ..... ۴۹



۴۹.....	مقدمه	۱-۳
۴۹.....	مکانیزم توزیع دما	۲-۳
۵۱.....	الگوهای دما و عملکرد موتور	۳-۳
۵۱.....	شناسایی تغییرات در الگوی دما	۴-۳
۵۲.....	پایش توزیع دما	۱-۴-۳
۵۲.....	پایش میزان انحراف دما از مقدار میانگین آن	۲-۴-۳
۵۴.....	تسهیل در تمایز بین الگوهای متفاوت	۵-۳
۵۵.....	کاربرد روش بر روی عیب‌های یک توربین گاز در حال بهره‌برداری	۶-۳
۵۹.....	اطلاعات اضافی برای شناسایی عیب	۷-۳
۶۰.....	بررسی کلی عیب عدم تقارن پاشش سوخت	۸-۳
۶۱.....	روش مستقیم	۱-۸-۳
۶۱.....	روش غیر مستقیم	۲-۸-۳
۶۲.....	نتیجه‌گیری	۹-۳
<b>۶۳.....</b>	<b>مدل‌سازی توربین گازی</b>	<b>۴- فصل</b>
۶۴.....	مقدمه	۱-۴
۶۵.....	توربین‌های گازی مخصوص کار سنگین و چرخه‌ی برایتون	۲-۴
۶۷.....	تخمین پارامترهای مدل توربین گازی	۳-۴
۶۹.....	پارامترهای توربین	۱-۳-۴
۷۲.....	مستقرکننده‌ی شیر سوخت و پسماند سیستم سوخت	۲-۳-۴
۷۳.....	تأخیرهای زمانی و پسماندهای تخلیه	۳-۳-۴
۷۴.....	اندازه‌گیری دما	۴-۳-۴
۷۵.....	محاسبه‌ی پارامترهای مدل روون توربین گازی V94.2	۴-۴
۷۶.....	محاسبه‌ی بازده توربین	۱-۴-۴
۷۷.....	محاسبه‌ی بازده کمپرسور	۲-۴-۴
۷۸.....	تخمین پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه‌ی گشتاور خروجی توربین	۳-۴-۴
۷۹.....	سیستم سوخت	۴-۴-۴
۸۰.....	تأخیرهای زمانی و پسماند تخلیه	۵-۴-۴
۸۰.....	ترموکوپل و محافظ تشعشع	۶-۴-۴
۸۱.....	گاورنر سرعت و کنترل‌کننده‌ی دما	۷-۴-۴
۸۱.....	شبیه‌سازی	۵-۴

۸۳	۶-۴- اعتبارسنجی نتایج مدل
۸۴	۷-۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
۸۶	<b>فصل ۵- شبیه‌سازی سیستم توربین گازی به منظور تشخیص عیب</b>
۸۶	۱-۵- مقدمه
۸۶	۲-۵- معادلات ریاضی مدل روون توربین گازی V94.2
۹۰	۳-۵- معادلات ریاضی سیستم با در نظر گرفتن اغتشاش و عیب
۹۲	۴-۵- تشکیل مانده با استفاده از فاکتورگیری
۹۳	۵-۵- شبیه‌سازی در حالت بدون عیب و اغتشاش و تغییر پله‌ی سرعت ۰/۱٪ و ۰/۳٪
۹۳	۱-۵-۵- حالت کاری نرمال
۹۳	۲-۵-۵- تغییر پله‌ی سرعت ۰/۱٪
۹۴	۳-۵-۵- تغییر پله‌ی سرعت ۰/۳٪
۹۵	۶-۵- شبیه‌سازی سیستم با عیب و اغتشاش
۹۶	۱-۶-۵- شبیه‌سازی در حالت عیب رسوب و سرعت نامی روتور
۹۷	۲-۶-۵- شبیه‌سازی در حالت عیب رسوب و تغییر پله‌ی سرعت ۰/۱٪ در سرعت روتور
۹۸	۳-۶-۵- شبیه‌سازی در حالت عیب رسوب و تغییر پله‌ی سرعت ۰/۳٪ در سرعت روتور
۹۹	۴-۶-۵- شبیه‌سازی در حالت عیب خوردگی و سرعت نامی روتور
۱۰۰	۵-۶-۵- شبیه‌سازی در حالت عیب خوردگی و تغییر پله‌ی سرعت ۰/۱٪ در سرعت روتور
۱۰۱	۶-۶-۵- شبیه‌سازی در حالت عیب خوردگی و تغییر پله‌ی سرعت ۰/۳٪ در سرعت روتور
۱۰۲	۷-۵- نتیجه‌گیری
۱۰۳	<b>فصل ۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری</b>
۱۰۴	۱-۶- پیشنهادات
۱۰۸	<b>فهرست مراجع</b>

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۳۳	جدول ۱-۲: پارامترهایی برای بهبود روش پایش احتراق [۲۸].
۳۴	جدول ۲-۲: پارامترهایی برای بهبود روش پایش آلاینده [۲۸].
۷۶	جدول ۱-۴: داده‌های نامی توربین گازی ۷94.2 برای مدل‌سازی [۶۰].
۷۶	جدول ۲-۴: داده‌های عملکردی برای یک نقطه کار توربین گازی ۷94.2 [۶۰].
۷۹	جدول ۳-۴: داده‌های مربوط به تخمین کم‌ترین فلوی سوخت و مصرف بی‌باری [۶۱].
۷۹	جدول ۴-۴: داده‌های عملکردی برای تخمین زمان پسماند سیستم سوخت [۶۱].
۸۰	جدول ۵-۴: داده برای محفظه‌ی تشعشع Radiation Shield [۵۵، ۵۹ و ۶۰].

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: مناطق کاری سیستم [۷].	۳
شکل ۲-۱: فرآیند تشخیص عیب و تنظیم کنترل‌کننده بر اساس آن [۹].	۴
شکل ۳-۱: انواع عیب بر حسب مکان وقوع [۱].	۵
شکل ۴-۱: انواع عیب بر حسب چگونگی رخداد [۹].	۶
شکل ۵-۱: تشخیص عیب با افزودن سخت‌افزار [۱۲].	۷
شکل ۶-۱: تشخیص عیب با استفاده از روش‌های بر اساس داده [۱۲].	۸
شکل ۷-۱: تشخیص عیب با استفاده از ایده‌ی مبتنی بر مدل [۱۲].	۹
شکل ۸-۱: نمای شماتیکی توربین گازی [۱۰].	۱۱
شکل ۹-۱: نمودارهای فشار-حجم و دما-آنترופی برای سیکل برایتون [۱۹].	۱۲
شکل ۱۰-۱: انحراف سیکل برایتون از حالت ایده‌آل [۱۹].	۱۳
شکل ۱۱-۱: بازده چرخه بر حسب ضریب فشار و دما [۱۸].	۱۳
شکل ۱۲-۱: عیب‌های رایج پدیدآمده در توربین‌های گازی مختلف.	۲۱
شکل ۱۳-۱: مجموعه عیوب محفظه احتراق.	۲۲
شکل ۱-۲: نمایش یک موتور جت توربینی نوعی دارای کمپرسور با جریان محوری [۲۵].	۲۶
شکل ۲-۲: تاریخچه ناپایداری احتراق [۳۷].	۴۳
شکل ۳-۲: کوپلینگ بین اکوستیک محفظه، نوسانات فشاری محفظه و نوسانات حرارت آزاد شده [۴۲].	۴۴
شکل ۱-۳: تعیین توزیع تغییرات دما و انحراف آن از مقدار میانگین دما [۴۴].	۵۲
شکل ۲-۳: تغییر در یک الگو که بر توزیع دما یا میزان انحراف از مقدار میانگین تأثیر نمی‌گذارد [۴۴].	۵۳
شکل ۳-۳: محل‌های پیرامونی ترموکوپل‌ها [۴۷].	۵۶
شکل ۴-۳: الگوی دمایی که در دریچه خروجی توربین مرکزی و در شرایط بهره‌برداری مختلف سوخت‌پاش اندازه‌گیری شده است [۴۷].	۵۶
شکل ۵-۳: تغییرات در توزیع دما به واسطه معرفی یک عیب [۴۷].	۵۷
شکل ۶-۳: انحرافات پروفایل دمای نرمال شده برای کلیه موارد مورد آزمون [۴۷].	۵۷
شکل ۷-۳: الگوی انحرافات کاهش‌ی برای موردی که عیب در نازل اولیه اتفاق افتاده است [۴۷].	۵۸
شکل ۸-۳: الگوی انحرافات کاهش‌ی برای همه موارد مورد آزمایش [۴۷].	۵۸

- شکل ۳-۹: الگوی انحرافات کاهشی برای عیب‌های نازل‌های اولیه در محفظه‌های مختلف احتراق [۴۷].  
 ۵۹ .....
- شکل ۳-۱۰: (الف) جریان سوخت برای چهار حالت از سوختپاش (ب) فشار سوخت مربوط به هر حالت [۴۷].  
 ۶۰ .....
- شکل ۳-۱۱: نمونه‌ای از نحوه ارائه دمای خروجی توربین [۴۸].  
 ۶۱ .....
- شکل ۳-۱۲: نمونه‌ای از توزیع دمای خروجی توربین.  
 ۶۲ .....
- شکل ۳-۱۳: نمونه‌ای از توزیع دمای خروجی توربین.  
 ۶۲ .....
- شکل ۴-۱: شماتیک یک HDGT نمونه و اجزای اصلی آن [۵۵].  
 ۶۵ .....
- شکل ۴-۲: چرخه‌ی برایتون نمونه در چارچوب دما-آنترپپی [۵۵].  
 ۶۶ .....
- شکل ۴-۳: مدل روون تکمیل شده برای توربین گازی V94.2 [۵۶].  
 ۶۸ .....
- شکل ۴-۴: مستقرکننده‌ی شیر نیوماتیکی و محرک شیر. (a) نمایش شماتیکی (b) مدل ریاضی فیدبک داخلی.  
 ۷۳ .....
- شکل ۴-۵: محفظه‌ی تشعشع و ترموکوپل. (a) شماتیکی از محفظه‌ی تشعشع و ترموکوپل درون آن. (b) مدار الکتریکی معادل ساده شده برای محاسبه‌ی دمای سر ترموکوپل [۵۵].  
 ۷۵ .....
- شکل ۴-۶: دما و توان مکانیکی خروجی توربین گازی V94.2 تحت تغییر پله‌ی سرعت ۱/۰-٪.  
 ۸۲ .....
- شکل ۴-۷: دما و توان مکانیکی خروجی توربین گازی V94.2 تحت تغییر پله‌ی سرعت ۳/۰-٪.  
 ۸۳ .....
- شکل ۴-۸: دما و توان مکانیکی خروجی توربین گازی ۱۷۲ مگاواتی تحت تغییر پله‌ی سرعت ۱/۰-٪.  
 ۸۳ .....
- شکل ۴-۹: دما و توان مکانیکی خروجی توربین گازی ۱۷۲ مگاواتی تحت تغییر پله‌ی سرعت ۳/۰-٪.  
 ۸۴ .....
- شکل ۵-۱: مدل سیمولینکی سیستم توربین گازی V94.2.  
 ۸۷ .....
- شکل ۵-۲: نمودار دمای خروجی و توان مکانیکی خروجی در حالت بدون عیب و اغتشاش در حالت کاری نرمال.  
 ۹۳ .....
- شکل ۵-۳: نمودار دمای خروجی و توان مکانیکی خروجی در حالت بدون عیب و اغتشاش با تغییر پله‌ی سرعت ۱/۰-٪.  
 ۹۴ .....
- شکل ۵-۴: نمودار دمای خروجی و توان مکانیکی خروجی در حالت بدون عیب و اغتشاش با تغییر پله‌ی سرعت ۳/۰-٪.  
 ۹۴ .....
- شکل ۵-۵: نمودار سیمولینکی توربین گاز سیستم با وجود عیب و اغتشاش.  
 ۹۶ .....
- شکل ۵-۶: اغتشاش‌های وارده به سیستم، عیب و مانده در حالت عیب رسوب و سرعت نامی روتور.  
 ۹۶ .....
- شکل ۵-۷: دمای خروجی و توان مکانیکی خروجی توربین گاز در حالت عیب رسوب و سرعت نامی روتور.  
 ۹۷ .....

- شکل ۵-۸: اغتشاش‌های وارده به سیستم، عیب و مانده در حالت عیب رسوب و تغییر پله‌ی سرعت  
 ۰/۱٪ - ..... ۹۷
- شکل ۵-۹: دمای خروجی و توان مکانیکی خروجی توربین گاز در حالت عیب رسوب و تغییر پله‌ی سرعت  
 ۰/۱٪ - ..... ۹۸
- شکل ۵-۱۰: اغتشاش‌های وارده به سیستم، عیب و مانده در حالت عیب رسوب و تغییر پله‌ی سرعت  
 ۰/۳٪ - ..... ۹۸
- شکل ۵-۱۱: دمای خروجی و توان مکانیکی خروجی توربین گاز در حالت عیب رسوب و تغییر پله‌ی  
 سرعت ۰/۳٪ - ..... ۹۹
- شکل ۵-۱۲: اغتشاش‌های وارده به سیستم، عیب و مانده در حالت عیب خوردگی و سرعت نامی روتور  
 ۵-۱۳: دمای خروجی و توان مکانیکی خروجی توربین گاز در حالت عیب خوردگی و سرعت نامی  
 روتور ..... ۱۰۰
- شکل ۵-۱۴: اغتشاش‌های وارده به سیستم، عیب و مانده در حالت عیب خوردگی و تغییر پله‌ی سرعت  
 ۰/۱٪ - ..... ۱۰۰
- شکل ۵-۱۵: دمای خروجی و توان مکانیکی خروجی توربین گاز در حالت عیب خوردگی و تغییر پله‌ی  
 سرعت ۰/۱٪ - ..... ۱۰۱
- شکل ۵-۱۶: اغتشاش‌های وارده به سیستم، عیب و مانده در حالت عیب خوردگی و تغییر پله‌ی سرعت  
 ۰/۳٪ - ..... ۱۰۲
- شکل ۵-۱۷: دمای خروجی و توان مکانیکی خروجی توربین گاز در حالت عیب خوردگی و تغییر پله‌ی  
 سرعت ۰/۳٪ - ..... ۱۰۲

# فصل اول:

## مقدمه

## فصل ۱ - مقدمه

### ۱-۱ - مقدمه‌ای بر تشخیص عیب

عملکرد صحیح سیستم‌های کنترلی، همواره مسئله‌ی مهم و مورد توجه در صنعت بوده است. سیستم‌های فرآیندی و صنعتی شامل تعداد زیادی از لوله‌ها، بازوها و ربات‌ها، سیستم‌های پردازش، سیستم‌های اطلاعاتی و سنسورها است. لزوم عملکرد صحیح این اجزا در کنار یکدیگر از دید مهندسان پوشیده نیست. از آنجایی که احتمال وقوع عیب در سیستم‌ها بسیار محتمل است، تشخیص و تفکیک عیب<sup>۱</sup> امری بسیار حائز اهمیت در سیستم‌های کنترلی است [۱].

قبل از ورود به مبحث اصلی، یکسان سازی مفهوم و ترجمه فارسی کلمات لازم به نظر می‌رسد. در این پایان‌نامه واژه‌ی fault «عیب» ترجمه شده است، همچنین واژه failure «خرابی» معنی شده است [۲]. در مورد تفاوت این دو مفهوم در پاراگراف زیر توضیح داده شده است.

عیب رفتار سیستم را به نحوی تغییر می‌دهد که سیستم، دیگر مقصود مورد نظر را برآورده نکند [۳]. عیب را می‌توان انحراف حداقل یکی از مشخصه‌های سیستم از رفتار قابل قبول، معمولی یا استاندارد دانست. این مسئله، ممکن است یک نقص داخلی سیستم باشد که موجب از کار افتادن منبع تغذیه شود، و یا مثلاً موجب نشستی در لوله‌ها گردد، یا یک فرمان کنترلی نادرست اعمال شده توسط انسان بر سیستم، و یا این که یک مسئله‌ی بیرونی و محیطی برای سیستم باشد. عیب می‌تواند یک نقص در طراحی سیستم در نقطه‌ی کار خاصی باشد و تا زمانی که سیستم وارد آن نقطه‌ی کار نشده، خود را نشان ندهد. به هر عنوان، عیب، علت اولیه‌ی ایجاد تغییر در ساختار و یا پارامترهای سیستم است، که موجب پایین آمدن راندمان سیستم و یا حتی عدم انجام صحیح عملیات سیستم می‌شود [۴].

همان‌طور که گفته شد، عیب به صورت انحراف ناخواسته‌ی حداقل یک مشخصه از یک متغیر، از رفتار قابل قبول آن تعریف می‌شود، در نتیجه عیب حالتی است که ممکن است به ناکارآمدی یا خرابی یک سیستم منجر شود [۵]. در صورت عدم تشخیص به موقع وقوع یک عیب و عدم جلوگیری از پیشروی آن در سیستم، این امر باعث از کارافتادگی یا خرابی یک قسمت و یا کل فرآیند می‌شود. به عنوان مثال وقوع یک سوراخ در مسیر عبور سوخت در یک موتور ممکن است در ابتدا منجر به کاهش نیروی تولیدی توسط موتور شود و در صورتی که این عیب تشخیص داده نشود سبب می‌شود که موتور به طور کامل از کار بیفتد.

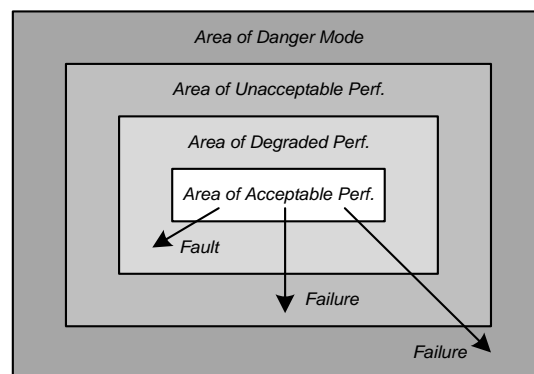
---

<sup>1</sup> Detection and Diagnosis



در سیستم‌های مقیاس‌بزرگ<sup>۱</sup>، هر زیرسیستم برای انجام وظیفه‌ی خاصی طراحی شده است و در نتیجه‌ی درست عمل کردن تمامی قسمت‌ها، سیستم هدف فرآیندی خود را به درستی انجام می‌دهد. بنابر همین علت، وقوع عیب در یک زیرسیستم، عموماً موجب ایجاد تغییر در راندمان کل سیستم می‌گردد [۶].

مسئله‌ی دیگر، وجود پدیده‌ی خرابی در سیستم است. همان‌گونه که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، اگر کل فضای کاری سیستم را به ۴ بخش منطقه‌ی بازده قابل قبول، منطقه‌ی بازده پایین، منطقه‌ی بازده غیر قابل قبول و منطقه‌ی خطر تقسیم نماییم، عیب سیستم را از حالت اول به حالت دوم می‌برد، اما خرابی سیستم را به حالت سوم یا چهارم وارد می‌کند [۹،۱۰].



شکل ۱-۱: مناطق کاری سیستم [۷].

عمل تشخیص عیب، به معنای دریافتن حضور و یا عدم حضور عیب در سیستم است. یکی از وظایف اصلی سیستم تشخیص عیب، جلوگیری از تبدیل شدن عیب به خرابی و یا عیب‌های بزرگ‌تر است. چرا که در غیر این صورت، امکان آسیب جدی به سیستم و در نتیجه‌ی آن، دربرگیری هزینه‌های هنگفت وجود خواهد داشت. به عنوان مثال، خوردگی عملگر سوخت در یک توربین گاز قابل برطرف شدن است، اما اگر برطرف نگردد، افزایش خوردگی در آن و خارج شدن سیستم از کنترل را در پی خواهد داشت. در واقع یکی از اهداف اولیه در بیشتر فرآیندها، تشخیص به موقع عیب و جلوگیری از آثار زیان‌بار آن است. در مواردی که وقوع چندین عیب بر سیستم محتمل است، عمل تفکیک عیب‌ها نیز به منظور اصلاح عیب واقع شده، دارای اهمیت است [۸].

در موارد پیشرفته‌تر، پس از تشخیص و شناسایی عیب، کنترل‌کننده نیز طراحی مجدد شده<sup>۲</sup> تا عملکرد حلقه‌ی کنترلی همچنان در وضعیت قابل قبول و مطلوب باقی بماند. به این روش کنترلی که در

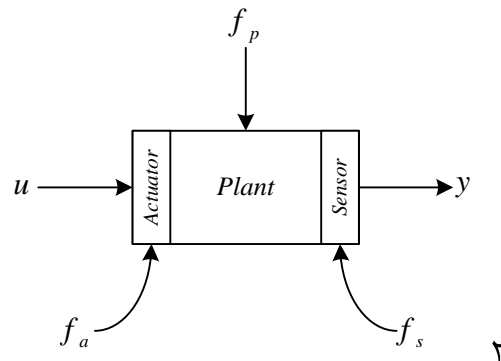
<sup>1</sup> Large-Scale System

<sup>2</sup> Controller Re-Design



## ۱-۱-۱- انواع عیب

به ترتیبی که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است، بر حسب مکان وقوع، سه دسته عیب مختلف بر سیستم واقع می‌شوند [۷]:



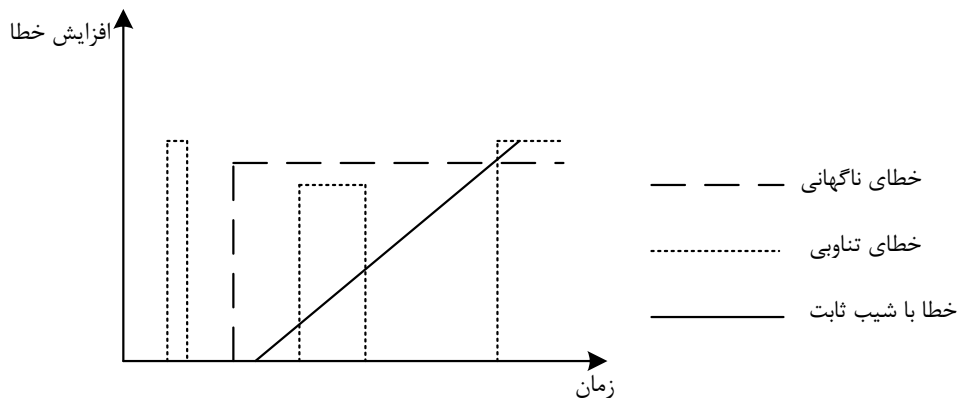
شکل ۳-۱: انواع عیب بر حسب مکان وقوع [۱].

- عیب عملگر که مشخصات سیستم را تغییر نداده اما کارایی کنترل‌کننده سلب می‌گردد. عموماً این نوع عیب به صورت کاهش در بهره‌ی عملگرها و یا ثابت ماندن بهره ظاهر می‌شود. به عنوان مثال، می‌توان به ثابت ماندن سرعت روتور توربین‌گاز در مقابل فرمان بازشدگی بیشتر شیر سوخت اشاره نمود.
- عیب فرآیند که در اثر وقوع، عملکرد سیستم تغییر می‌یابد، همانند نقص در جلوگیری از نشت سیستم روغن توربین‌گاز که موجب ورود روغن به داخل بدنه‌ی توربین شده و مشخصات عملکردی آن را تغییر می‌دهد.
- عیب سنسور که در مورد آن نیز، مشخصات سیستم بدون تغییر باقی مانده در حالی که اطلاعات خوانده شده از آن، با عیب‌هایی همراه است. مورد مذکور می‌تواند ثابت ماندن خروجی سنسور و یا کاهش صحت آن باشد. مثلاً وجود عیب در ترموکوپل ورودی دیفیوژر کمپرسور در سیستم توربین‌گاز.

لازم به ذکر است که اغتشاش، نویز و عدم قطعیت نیز دارای احتمال وقوع بر سیستم است. موارد مذکور عیب نیستند، لذا لازم است روش تشخیص عیب به نحوی طراحی شود که بتواند اثرات آن‌ها را از اثر عیب تفکیک نماید.

عیب‌هایی که به طور معمول اتفاق می‌افتند را می‌توان بر اساس چگونگی رخداد آن‌ها در سیستم، به سه دسته‌ی زیر تقسیم نمود (شکل ۴-۱):

- عیب‌های ناگهانی<sup>۱</sup>، که در شکل به صورت خط‌چین دیده می‌شود. این نوع عیب‌ها مربوط به ایجاد تغییر ناگهانی در یکی از متغیرهای سیستم یا عملگرها و سنسورها هستند و به عنوان نمونه می‌توان به قطع یا کاهش ناگهانی یک متغیر، نقص ناگهانی در یکی از اجزای مکانیکی و از کارافتادن ناگهانی یک زیرمجموعه از سیستم اشاره کرد.
- عیب‌های با شیب ثابت<sup>۲</sup>، که در شکل به صورت خط کامل دیده می‌شود. این عیب‌ها در مواردی که یکی از پارامترهای فیزیکی سیستم به تدریج از مقدار طبیعی خود منحرف شود، اتفاق می‌افتد. به عنوان نمونه می‌توان به ایجاد نشتی منابع یا خطوط انتقال سیال، افت تدریجی انرژی یا سیگنال ورودی به سیستم، تغییرات تدریجی بهره‌ی سنسورها در اثر تغییر شرایط محیطی و موارد متعدد دیگر اشاره کرد.
- عیب‌های تناوبی<sup>۳</sup>، که در شکل به صورت نقطه‌خط دیده می‌شود. این نوع عیب به حالتی اطلاق می‌شود که مقادیر یکی از متغیرها یا پارامترهای سیستم برای یک بازه‌ی زمانی از وضعیت طبیعی خود منحرف شده و دوباره به حالت عادی برگردد. از کار افتادن یکی از زیر مجموعه‌های سیستم در یک بازه‌ی زمانی، قطع موقتی انرژی یا توان ورودی به سیستم برای زمان محدود و موارد مشابه دیگر از نمونه‌های این نوع عیب هستند.



شکل ۱-۴: انواع عیب بر حسب چگونگی رخداد [۹].

عیب از دیدگاه دیگری نیز قابل بررسی است. تعدادی از عیب‌ها در حالات گذرای سیستم، و تعدادی دیگر در حالت ماندگار آن واقع می‌شوند. عیب‌های حالت گذرا عموماً از نوع عیب‌های خطرناک هستند و سریعاً به خرابی تبدیل می‌شوند، لذا در برابر چنین عیب‌هایی فرآیند تشخیص عیب باید به سرعت انجام

<sup>1</sup> Abrupt

<sup>2</sup> Incipient

<sup>3</sup> Intermittent