

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشکده : برق و رباتیک

گروه : کنترل

تشخیص خطای مقاوم با استفاده از رؤیتگر ورودی نامعلوم بر روی زیردریایی بدون سرنشین

دانشجو : فهیمه قربانی وشکی

استاد راهنما:

دکتر محمدعلی صدرنیا

استاد مشاور:

دکتر محمد مهدی فاتح

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه ی کارشناسی ارشد

ماه و سال انتشار: شهریور ۱۳۹۲



مدیریت تحصیلات تکمیلی  
فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره : ۱۰۸۴/آ.ت.ب  
تاریخ : ۹۲/۰۶/۲۳  
ویرایش : -----

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای :  
فهیمة قربانی وشکی رشته : یسرق گرایش : کنترل  
تحت عنوان : تشخیص خطای مقاوم با استفاده از رویکرد بر روی زیردریایی بدون سرنشین  
که در تاریخ ۹۲/۰۶/۲۳ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه)  امتیاز (۱۶۱/۱۶۷)  دفاع مجدد  مردود

- ۱- عالی (۲۰ - ۱۹)  
۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)  
۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)  
۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)  
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	محمد علی حسینی	استادیار	
۲- استاد مشاور	مهرداد حسینی	استاد	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	سینا حسینی	استادیار	
۴- استاد ممتحن	افشین حسینی	استادیار	
۵- استاد ممتحن	عزیز حسینی	استادیار	

رئیس دانشکده :

## دانشگاه صنعتی شاهرود

تشکر و قدردانی:

بدین وسیله مایلیم از جناب آقای دکتر صدر نیا، استاد راهنمایم به خاطر همه ی راهنمایی ها، همراهی ها و صبوری‌شان قدردانی کنم که بدون آن انجام این پایان نامه میسر نبود.

هم چنین از جناب آقای دکتر فاتح، استاد مشاورم به خاطر راهنمایی های ارزنده شان سپاسگزارم.

از همه ی اساتید ارجمندی که در طی مدت تحصیلم در دانشگاه صنعتی شاهرود، از حضور گرانقدرشان بهره بردم، خالصانه سپاس گزارم.

## تعهد نامه

اینجانب ..... دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ..... دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان :

.....

تحت راهنمایی آقای دکتر ..... متعهد می شوم :

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده ( یا یافت های آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است .

تاریخ: ۹۲/۶/۲۳

امضاء دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

\* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

## چکیده:

همچنان که سیستم های کنترل پیچیده تر می شوند، اطمینان پذیری و امنیت عملکردشان از اهمیت بیشتری برخوردار می گردد. از آنجا که هیچ سیستمی در عمل نمی تواند تحت تغییرات محیطی گوناگون در تمام مدت بی نقص عمل کند، ضروری است که قادر باشیم خطاهای محتمل در یک سیستم را در سریع ترین زمان ممکن آشکارسازی کنیم..

ما در این پایان نامه، مسأله ی تشخیص و جداسازی خطای مبتنی بر رؤیتگر برای سیستم های دینامیکی خطی تغییر ناپذیر با زمان را با تکیه بر مقاوم بودن مطالعه می کنیم. پس از ارائه ی برخی تعاریف ، مسأله ی تشخیص خطای مبتنی بر مدل به همراه خلاصه ای از روش های مختلف در تولید باقیمانده - های مقاوم تشخیص خطا معرفی خواهد شد. سه ساختار رؤیتگر معرفی و تشخیص خطای مبتنی بر ساختارهای مختلف رؤیتگر مطالعه و مسأله ی مقاوم بودن در ارتباط با تشخیص خطا مطرح می شود. در این پایان نامه ما یک روش تشخیص و جداسازی خطای مقاوم سنسور را برای مدل خطی سازی شده ی زیردریایی بدون سرنشین با استفاده از رؤیتگرهای ورودی نامعلوم ارائه می کنیم.

در راستای انجام یک نوآوری در این زمینه، یک روش هوشمند در طراحی رؤیتگر ورودی نامعلوم با استفاده از الگوریتم بهینه سازی پرندگان معرفی می کنیم. نتایج شبیه سازی برای نمایش مؤثر بودن روش بهینه ی ارائه شده در تشخیص خطای مقاوم ارائه می شود.

**کلمات کلیدی:** تشخیص و جداسازی خطای مقاوم- زیردریایی بدون سرنشین-رؤیتگر ورودی نامعلوم-

الگوریتم بهینه سازی پرندگان

## فهرست مطالب

۱	فصل ۱- مقدمه
۴	۱-۱ مروری بر تاریخچه ی کارهای انجام شده
۷	۱-۲ اهداف پایان نامه
۸	۱-۳ مطالب فصول بعدی
۱۱	فصل ۲- تشخیص خطا
۱۳	۱-۲ چند تعریف
۱۴	۲-۲ انواع خطا
۱۴	۱-۲-۲ خطاهای سنسور
۱۵	۲-۲-۲ خطاهای محرک
۱۵	۳-۲-۲ خطاهای اجزا
۱۶	۳-۲ انواع شکست ها و بد عمل کردن ها
۱۷	۱-۳-۲ تغییرات پارامتری فاحش در یک مدل
۱۷	۲-۳-۲ تغییرات ساختاری
۱۸	۳-۳-۲ بد عمل کردن سنسورها و محرک ها
۱۸	۴-۲ تشخیص خطا
۱۸	۱-۴-۲ روش های بدون مدل
۱۹	۲-۴-۲ تشخیص خطا مبتنی بر مدل

۲۱	۲-۴-۳ افزودگی
۲۶	۲-۴-۴ عدم قطعیت مدل و تشخیص خطا
۲۷	۲-۴-۵ مسأله ی مقاوم بودن در تشخیص خطا
۲۹	فصل ۳- معرفی وسیله ی نقلیه ی زیر دریایی
۳۱	۳-۱-۱ دینامیک های وسیله ی نقلیه ی زیر دریایی
۳۳	۳-۲-۲ معادلات حرکت برای زیردریایی های بدون سرنشین
۳۶	۳-۳-۳ زیرسیستم های مجزا شده ی زیردریایی های بدون سرنشین
۳۸	۳-۳-۱ زیرسیستم راندن در زیردریایی های بدون سرنشین
۴۰	۳-۳-۲ زیرسیستم شیرجه در زیردریایی های بدون سرنشین
۴۳	فصل ۴- ساختار رؤیتگرهای تشخیص خطا
۴۵	۴-۱-۱ ساختارهای رؤیتگر
۴۵	۴-۱-۱-۱ رؤیتگر لنبرگر
۴۶	۴-۱-۲ رؤیتگر اغتشاش
۴۸	۴-۱-۳ رؤیتگر ورودی نامعلوم
۵۲	۴-۱-۴ رؤیتگر انتگرالی نسبی
۵۴	۴-۲ مقایسه ی ساختار های رؤیتگرهای مختلف
۵۷	فصل ۵- تشخیص خطای مقاوم مبتنی بر رؤیتگر ورودی نامعلوم بهینه
۵۹	۵-۱ تشخیص و جداسازی خطای مقاوم سنسور



۶۳	۲-۵ معرفی الگوریتم بهینه سازی پرندگان
۶۳	۱-۲-۵ مروری بر بهینه سازی هوشمند با استفاده از جست و جوی تصادفی
۶۵	۲-۲-۵ الگوریتم بهینه سازی پرندگان
۷۰	۳-۵ طراحی رؤیتگر ورودی نا معلوم بر اساس الگوریتم بهینه سازی پرندگان
۷۳	فصل ۶- نتایج شبیه سازی
۷۵	۱-۶ طراحی رؤیتگر های تشخیص خطا و مقایسه ای بر عملکردشان
۷۵	۱-۱-۶ طراحی رؤیتگرهای تشخیص خطا
۷۹	۲-۱-۶ تشخیص خطای مقاوم سنسور مبتنی بر رؤیتگر
۸۳	۲-۶ تشخیص و جداسازی مقاوم خطای سنسور
۸۳	۱-۲-۶ طراحی بانک رؤیتگرهای ورودی نامعلوم
۸۶	۲-۲-۶ طراحی بانک رؤیتگرهای ورودی نامعلوم مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی پرندگان
۹۱	۳-۲-۶ ارزیابی مقاوم بودن
۹۴	۴-۲-۶ تشخیص و جداسازی مقاوم خطای سنسور با استفاده از رؤیتگر بهینه
۱۰۱	۳-۶ طراحی رؤیتگر بهینه ی خطی برای معادلات حرکت سیستم غیرخطی
۱۰۹	فصل ۷- نتیجه گیری و کارهای آینده
۱۱۱	۱-۷ نتیجه گیری
۱۱۲	۲-۷ پیشنهادات و کارهای آینده
۱۱۳	منابع

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) مکان های احتمالی وقوع خطا [۶] ۱۴
- شکل (۲-۲) مدل های خطا: (الف) خطای جمع شونده برای یک سیگنال خروجی؛ (ب) خطای ضرب شونده [۴] ۱۶
- شکل (۳-۲) وابستگی زمانی خطاها: (a) ناگهانی؛ (b) افزایشنده؛ (c) تناوبی [۵] ۱۷
- شکل (۴-۲) ساختار کلی سیستم تشخیص خطای مبتنی بر مدل [۴] ۲۰
- شکل (۵-۲) یک مقایسه بین افزونگی سخت افزاری و افزونگی نرم افزاری [۹] ۲۲
- شکل (۶-۲) تولید باقیمانده مبتنی بر معادلات توازن [۱۷] ۲۳
- شکل (۷-۲) رؤیتگر تشخیص خطا (۱۷) ۲۴
- شکل (۸-۲) تخمین پارامتر [۱۷] ۲۶
- شکل (۱-۳) چارچوب های مرجع بدنه-ثابت  $B$  و لختی-ثابت  $I$  [۲۳] ۳۳
- شکل (۲-۳) مبدأ  $O$  و مرکز جاذبه  $CG$  در چارچوب بدنه-ثابت [۲۳] ۳۵
- شکل (۳-۳) تصویر زیردریایی ان پی اس [۲۳] ۳۷
- شکل (۴-۳) انحرافات سکان های عقبی و جلویی در زیرسیستم راندن [۲۳] ۳۹
- شکل (۱-۴) ساختار یک رؤیتگر ورودی نامعلوم از مرتبه ی کامل [۳] ۵۱
- شکل (۲-۴) فلوچارت رؤیتگر ورودی نامعلوم [۳] ۵۳
- شکل (۱-۵) یک شمای تشخیص و جداسازی خطای مقاوم [۳] ۶۰

شکل (۲-۵) مقایسه ی الگوریتم های بهینه سازی کلاسیک و هوشمند در فضای جست و جوی

۶۴ جواب [۱۷]

۶۵ شکل (۳-۵) وجود بهینه ی محلی چندگانه [۱۷]

۶۷ شکل (۴-۵) نمایش برداری عملیات بهینه سازی پرندگان در یک فضای دو بعدی [۱۷]

۶۹ شکل (۵-۵) فلوجارت الگوریتم بهینه سازی پرندگان [۱۷]

۷۰ شکل (۶-۵) بانک رؤیتگر های ورودی نامعلوم برای تولید باقیمانده [۹]

۷۲ شکل (۷-۵) بلوک دیاگرام شناسایی پارامتر مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی پرندگان [۱۷]

۷۶ شکل (۱-۶) تخمین اغتشاش توسط رؤیتگر اغتشاش

۷۶ شکل (۲-۶) تخمین حالت توسط رؤیتگر اغتشاش

۷۷ شکل (۳-۶) تخمین حالت توسط رؤیتگر ورودی نامعلوم

۷۸ شکل (۴-۶) تخمین اغتشاش توسط رؤیتگر انتگرالی نسبی

۷۸ شکل (۵-۶) تخمین حالت توسط رؤیتگر انتگرالی نسبی

۷۹ شکل (۶-۶) باقیمانده های رؤیتگر اغتشاش وقتی تنها اغتشاش حضور دارد

۸۰ شکل (۷-۶) باقیمانده های رؤیتگر ورودی نامعلوم وقتی تنها اغتشاش حضور دارد.

۸۰ شکل (۸-۶) باقیمانده های رؤیتگر انتگرالی نسبی وقتی تنها اغتشاش حضور دارد.

۸۱ شکل (۹-۶) باقیمانده های رؤیتگر اغتشاش در حضور خطای سنسور

۸۲ شکل (۱۰-۶) باقیمانده های رؤیتگر ورودی نامعلوم در حضور خطای سنسور

۸۲ شکل (۱۱-۶) باقیمانده های رؤیتگر انتگرالی نسبی در حضور خطای سنسور

۸۶ شکل (۱۲-۶) باقیمانده های حساس به اغتشاش

۸۷ شکل (۱۳-۶) فرآیند بهینه سازی برای تابع هزینه

- ۸۸ شکل (۱۴-۶) تخمین حالت  $q$  توسط رؤیتگر بهینه
- ۸۸ شکل (۱۵-۶) تخمین حالت  $\theta$  توسط رؤیتگر بهینه
- ۸۹ شکل (۱۶-۶) تخمین حالت  $z$  توسط رؤیتگر بهینه
- ۸۹ شکل (۱۷-۶) سیگنال باقیمانده ی مقاوم  $r_1$
- ۹۰ شکل (۱۸-۶) سیگنال باقیمانده ی مقاوم  $r_2$
- ۹۰ شکل (۱۹-۶) سیگنال باقیمانده ی مقاوم  $r_3$
- ۹۲ شکل (۲۰-۶) باقیمانده های مقاوم در حضور تغییرات پارامتری و اغتشاش
- ۹۲ شکل (۲۱-۶) سیگنال باقیمانده ی مقاوم  $r_1$  در حضور اغتشاش با عامل غیر خطی
- ۹۳ شکل (۲۲-۶) سیگنال باقیمانده ی مقاوم  $r_2$  در حضور اغتشاش با عامل غیر خطی
- ۹۳ شکل (۲۳-۶) سیگنال باقیمانده ی مقاوم  $r_3$  در حضور اغتشاش با عامل غیر خطی
- ۹۵ شکل (۲۴-۶) تأثیر خطای سنسور ۱ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه اول
- ۹۵ شکل (۲۵-۶) تأثیر خطای سنسور ۱ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه دوم
- ۹۶ شکل (۲۶-۶) تأثیر خطای سنسور ۱ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه سوم
- ۹۶ شکل (۲۷-۶) تأثیر خطای سنسور ۲ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه اول
- ۹۷ شکل (۲۸-۶) تأثیر خطای سنسور ۲ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه دوم
- ۹۷ شکل (۲۹-۶) تأثیر خطای سنسور ۲ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه سوم
- ۹۸ شکل (۳۰-۶) تأثیر خطای سنسور ۳ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه اول
- ۹۸ شکل (۳۱-۶) تأثیر خطای سنسور ۳ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه دوم
- ۹۹ شکل (۳۲-۶) تأثیر خطای سنسور ۳ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه سوم
- ۱۰۰ شکل (۳۳-۶) سیسم منطقی نشانگر خطای سنسور

- شکل (۳۴-۶) بلوک منطقی نشانگر خطای سنسور، خطا در سنسور ۱ رخ داده است ۱۰۱
- شکل (۳۵-۶) تخمین حالت  $u$  توسط رؤیتگر بهینه ۱۰۳
- شکل (۳۶-۶) تخمین حالت  $v$  توسط رؤیتگر بهینه ۱۰۳
- شکل (۳۷-۶) تخمین حالت  $r$  توسط رؤیتگر بهینه ۱۰۴
- شکل (۳۸-۶) تخمین حالت  $\psi$  توسط رؤیتگر بهینه ۱۰۴
- شکل (۳۹-۶) سیگنال های باقیمانده ۱۰۵
- شکل (۴۰-۶) سیگنال های باقیمانده در حضور خطای سنسور ۱۰۶
- شکل (۴۱-۶) باقیمانده های تولید شده توسط رؤیتگر غیر بهینه ۱۰۷

## فهرست جداول

- جدول (۱-۳) نمادگذاری های استفاده شده برای وسیله ی نقلیه ی زیر دریایی [۲۲] ۳۲
- جدول (۲-۳) متغیرهای حالت و کنترل زیرسیستم های زیردریایی بدون سرنشین [۲۳] ۳۸

## علائم و اختصارات

### فصل ۳- معرفی وسیله ی نقلیه ی زیر دریایی

- مرکز جاذبه  $CG$
- ماتریس کوریولیس و نیروهای مرکزگرا در معادلات حرکت زیردریایی  $C(v)$
- ماتریس میرایی هیدرودینامیک در معادلات حرکت زیردریایی  $D(v)$

$g(\eta)$	بردار جاذبه و نیروهای شناورسازی در معادلات حرکت زیردریایی
$I_c$	تانسور لختی حول مرکز جاذبه ی مختصات بدنه-ثابت
$I_o$	تانسور لختی بدنه متناظر با سیستم مختصاتی بدنه-ثابت با مبدأ $O$
$I_z$ و $I_y$ و $I_x$	گشتاورهای لختی حول محورهای $X_0$ و $Y_0$ و $Z_0$
$I_{xc}, I_{yc}, I_{zc}$	گشتاورهای لختی مربوط به $I_c$
$K, M, N$	گشتاورهای نیروهای خارجی حول مبدأ در چارچوب بدنه-ثابت
$M$	ماتریس اینرسی و جرم افزوده در معادلات حرکت زیردریایی
$p, q, r$	حرکت چرخشی (سرعت زاویه ای) حول محورهای $X_0, Y_0, Z_0$
$r_G = (x_G, y_G, z_G)$	موقعیت مرکز جاذبه در چارچوب بدنه-ثابت
$u, v, w$	حرکت انتقالی در امتداد محورهای $X_0, Y_0, Z_0$
$u_0$	سرعت ثابت رو به جلو در زیردریایی
$XYZ$	سیستم مختصات زمین-ثابت
$X_0Y_0Z_0$	سیستم مختصات بدنه-ثابت
$X, Y, Z$	نیروهای خارجی در چارچوب بدنه-ثابت
$x, y, z$	مختصات موقعیت زیردریایی در چارچوب اینرسی-ثابت

$\phi, \theta, \psi$  جهت گیری زیردریایی در چارچوب اینرسی-ثابت

$\tau$  بردار ورودی کنترل در معادلات حرکت زیردریایی

$\delta_r$  انحراف سکان

$\delta_s$  انحرافات صفحه ی عقب زیردریایی

#### فصل ۴- ساختار رؤیتگرهای تشخیص خطا

$A$  ماتریس انتقال حالت در فضای حالت سیستم

$B$  ماتریس ورودی کنترل در فضای حالت سیستم

$C$  ماتریس رؤیت در فضای حالت سیستم

$E$  ماتریس توزیع اغتشاش در فضای حالت سیستم

ماتریس های طراحی فضای حالت رؤیتگر ورودی نامعلوم برای مجزا سازی اغتشاش

$K, F, T, H$  از خطای تخمین حالت

$L$  بهره ی رؤیتگر اغتشاش

$K_p$  بهره ی نسبی رؤیتگر انتگرالی نسبی

$K_I$  بهره ی انتگرالی رؤیتگر انتگرالی نسبی

## فصل ۵- تشخیص خطای مقاوم مبتنی بر رؤیتگر ورودی نامعلوم بهینه

$f_s$  بردار غیر قابل اندازه گیری از خطاهای سنسور

$r(t)$  سیگنال باقیمانده

$T_{SFI}$  آستانه ی جداسازی

$u(t)$  ورودی کنترل در فضای حالت

$c_1, c_2$  ضرایب شتاب در الگوریتم بهینه سازی پرندگان

$w$  فاکتور وزن داخلی در الگوریتم بهینه سازی پرندگان

$\hat{p}$  بردار پارامتری که باید شناسایی شود

$C(\hat{p})$  تابع هزینه



## فصل ۱- مقدمه



اقیانوس ها همواره کنجکاوی و تصورات بشر را برانگیخته اند. بشر برای دهه ها سعی کرده که این قسمت مرموز جهان را کشف و از آن بهره برداری کند. از این رو زیر دریایی های بدون سرنشین<sup>۱</sup> به طور گسترده ای در عملیات تجاری، علمی و نظامی برای تحقیق و نقشه برداری، تأمین خدمات برای عملیات مهندسی اقیانوسی، پشتیبانی ورزشی، آزمون و ارزیابی و... مورد استفاده قرار گرفته اند.

آنچه این تکنولوژی را چالش برانگیز می کند، طولانی شدن زمان و ناشناخته بودن محیط عملیات است که وقوع خطا در محرک ها، سنسورها و یا اجزا را تبدیل به یکی از نگرانی های اولیه می کند. از این رو مسأله ی قابل اعتماد بودن و امنیت زیردریایی های بدون سرنشین توجه بسیاری را به خود جلب کرده است و مطلوب است یک سیستم تشخیص خطای قابل اطمینان به وسیله ی نقلیه اعمال شود تا هر گونه خطایی پیش از آنکه باعث از دست رفتن وسیله و خسارت اقتصادی گردد شناسایی گردد.

به طور کلی تحقیق در زمینه ی تشخیص خطا توجه رو به رشدی را در سراسر جهان از ابتدای دهه ی هفتاد به خود جلب کرده است [۱]. با پیشرفت کامپیوترهای دیجیتال، روش های تشخیص و جداسازی خطا<sup>۲</sup> که از افزونگی تحلیلی<sup>۳</sup> استفاده می کنند به عنوان جایگزین های عملی برای روش افزونگی سخت افزاری معرفی شده اند [۲]. افزونگی تحلیلی در حقیقت یک روش پردازش سیگنال است که تخمین حالت، تخمین پارامتر، تئوری های تصمیم گیری آماری و عملیات منطقی و ترکیبی گوناگونی را به کار می گیرد. افزونگی تحلیلی قابلیت تشخیص خطا را با محتویات افزودنی کمتر و محاسبات بیشتر ترقی می بخشد. این پایان نامه روش افزونگی تحلیلی را به کار می گیرد و آن را در راستای تشخیص و جداسازی خطا بهبود می بخشد.

---

<sup>1</sup> - Unmanned Underwater Vehicle (UUV)

<sup>2</sup> - Fault Detection and Isolation (FDI)

<sup>3</sup> - Analytical Redundancy

## ۱-۱ مروری بر تاریخچه ی کارهای انجام شده

روش های تشخیص خطا با استفاده از افزونگی تحلیلی به طور وسیعی در سیستم های دینامیکی پیچیده مانند زمینه های هوانوردی و هوافضا، فرآیند های هسته ای، فرآیند های شیمیایی و فن آوری حمل و نقل مورد بررسی قرار گرفته اند [۳]. این روش ها به دو گروه عمده تقسیم می شوند؛ مبتنی بر مدل<sup>۱</sup> و بدون مدل<sup>۲</sup> [۴]. روش های بدون مدل از مدل دینامیکی فرآیند در تشخیص خطا استفاده نمی کنند. این روش برای سیستم های مقیاس بزرگ که به دست آوردن مدلشان بسیار وقت گیر است مناسب می باشد. مرور خوبی بر سیستم های تشخیص خطای بدون مدل با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی در [۵] ارائه شده است.

روش های مبتنی بر مدل از ایده ی تولید باقیمانده استفاده می کنند که عدم تطابق بین رفتار تخمین زده شده و واقعی را بازتاب می دهد [۶]. تولید باقیمانده یک مسأله ی حیاتی در تشخیص و جداسازی خطای مبتنی بر مدل است. گوناگونی وسیعی از روش ها برای تولید باقیمانده در دسترس می باشند مانند روش معادلات توازن<sup>۳</sup> و روش مبتنی بر رؤیتگر. معادلات توازن معادلات ورودی- خروجی هستند که دوباره تنظیم شده و انتقال یافته اند تا توانایی خطایابی آنها را تقویت کنند. یکی از کارهای اولیه در این زمینه در [۷] انجام گرفت که اقتباسی از مدل فضای حالت است.

ایده ی اساسی در پس روش های مبتنی بر رؤیتگر، تخمین زدن خروجی های سیستم از اندازه گیری ها با استفاده از نوع معینی از رؤیتگر(ها) است. آنگاه خطای تخمین (وزندار) خروجی به عنوان یک باقیمانده استفاده می شود، باقیمانده برای احتمالات وجود خطا بررسی و قوانین تصمیم گیری معین برای اینکه آیا

---

<sup>1</sup> -Model-based FDI

<sup>2</sup> -Model-Free FDI

<sup>3</sup> -Parity Equations

خطایی رخ داده یا نه اعمال می شود. روش های مبتنی بر رؤیتگر همانند دیگر روش های مبتنی بر مدل قادر به شناسایی صحیح و قابل اطمینان خطا هستند اگر مدل ریاضیاتی یک ارائه ی صحیح از رفتار سیستم باشد. اگرچه ممکن است سیستم های عملی هرگز خالی از اغتشاشات ناشناخته و خطاهای مدلسازی نباشند. یکی از موفق ترین روش های تشخیص مقاوم خطا استفاده از اصل مجزا سازی اغتشاش<sup>۱</sup> است که در آن باقیمانده طوری طراحی می شود که به اغتشاشات نامعلوم غیر حساس باشد درحالیکه هم چنان به خطاها حساس است [۸].

در طی سه دهه ی گذشته توجه زیادی معطوف طراحی رؤیتگر برای سیستم های با ورودی نامعلوم شده است. این روش در ابتدا در سال ۱۹۸۲ ارائه شد که تشخیص خطای سنسور را برای سیستم هایی با عدم قطعیت های مدلسازی مطرح شد. بعد ها این روش با اعمال تشخیص خطا هم بر روی سنسور ها و هم محرک ها عمومیت داده شد [۹]. با استفاده از این رؤیتگرها یک تولیدکننده ی باقیمانده ی مجزا شده از اغتشاش قابل طراحی است. رؤیتگر ورودی نامعلوم<sup>۲</sup> یک تخمین زن است که از ورودی های نامعلوم مانند اغتشاشات ، عدم قطعیت های سیستم و یا خطاهایی که ممکن است بر سیستم و اندازه گیری ها اثر بگذارند مجزا شده است.

نوع دیگری از رؤیتگرها که به طور گسترده ای در حوزه ی تشخیص خطا مطالعه شده، رؤیتگر اغتشاش<sup>۳</sup> است. رؤیتگر اغتشاش متغیرهای حالت یک سیستم را که به وسیله ی یک مدل دینامیکی از سیگنال های اغتشاش بهبود یافته، تخمین می زند. از این رو سیگنال های اغتشاش یک بخش از متغیر های حالت سیستم بهبود یافته هستند. وقتی که متغیرهای حالت سیستم بهبود یافته تخمین زده شدند، سیگنال اغتشاش هم تخمین زده می شود [۱۰].

---

<sup>1</sup> -Disturbance Decoupling

<sup>2</sup> -Unknown Input Observer (UIO)

<sup>3</sup> -Disturbance Observer (DO)

در حالیکه بیشتر روش های تشخیص خطا شکل دقیق خطا را معلوم نمی کنند رؤیتگر انتگرالی نسبی<sup>۱</sup> تخمین حالت ها و خطاهای تأثیرگذار بر سیستم و اندازه گیری ها را میسر می سازد [۱۱]. رؤیتگر های انتگرالی نسبی دارای یک عامل اضافی هستند که متناسب با انتگرال خطای تخمین خروجی می باشد. عامل انتگرالی اضافی درجات آزادی بیشتری را برای اهداف طراحی رؤیتگر در اختیار قرار می دهد.

یک تاریخچه ی طولانی از اعمال روش های تشخیص خطا برای روی زیر دریایی های بدون سرنشین وجود دارد. یک بررسی بر روی ساختار های تشخیص خطا و تحمل خطا در [۱۲] ارائه شده است. بسیاری از اینها روش های مبتنی بر مدل هستند ولی اکثراً به بررسی آن در زیرسیستم های محدود شده گرایش دارند، مثلاً در رابطه با تشخیص خطا در محرک ها از [۱۳] و در رابطه با سنسور ها از [۱۴] می توان نام برد. در [۱۵] از فیلتر کالمن برای شناسایی پارامترهای کلیدی در تعیین صحت عملکرد زیر سیستم های زیردریایی بدون سرنشین استفاده و یک شبکه ی عصبی برای شناسایی و جداسازی هرگونه حالت تنزل یافته تربیت شده است.

استفاده از الگوریتم های بهینه سازی هوشمند نیز به طور وسیعی در زمینه ی تشخیص خطا گسترش یافته است. از جمله در [۱۶] و [۱۷] کاربرد الگوریتم بهینه سازی پرندگان<sup>۲</sup> در تشخیص خطا قابل مشاهده است. در این پایان نامه الگوریتم بهینه سازی پرندگان برای طراحی ساختار رؤیتگر ورودی نامعلوم، به طوریکه اصل مجزا سازی اغتشاش به طور مطلوب اجرا شود، به کار گرفته می شود. نتیجه ی کار، تولید باقیمانده هایی خواهد بود که در برابر اغتشاشات، صرف نظر از وجود عوامل خطی یا غیر خطی و بزرگی آنها، به صورت کاملاً چشمگیری در مقایسه با کارهای انجام شده ی قبلی، مقاوم هستند. این رؤیتگر مقاوم

---

<sup>1</sup> -Proportional Integral Observer (PIO)

<sup>2</sup> - Particle Swarm Optimization (PSO)

به دلیل خواص عدم حساسیت به ورودی های نامعلوم غیر خطی، حتی قادر خواهد بود حالت های یک سیستم غیر خطی را نیز با موفقیت تخمین بزند و باقیمانده های نسبتاً مقاومی تولید کند.

بررسی مکتوبات نشان می دهد که تاکنون از روش رؤیتگر های ورودی نامعلوم در امر تشخیص خطا در زیر دریایی های بدون سرنشین استفاده نشده است. این پایان نامه سعی بر این دارد که علاوه بر تحقق این امر، نسخه ی بهینه شده ای از این روش را نیز ارائه کند.

## ۱-۲ اهداف پایان نامه

هدف اصلی از انجام این پایان نامه ارائه ی روشی مقاوم در تشخیص و جداسازی خطاهای سنسور بر روی زیردریایی بدون سرنشین است. الگوریتم طراحی شده داده ها را از سنسور های ژيروسکوپ، قطب نما، فشار سنج و انحراف سنج دریافت می کند، اطلاعات را پردازش کرده و بر اساس یک سیستم تصمیم گیری منطقی وقوع یا عدم وقوع خطا را اعلام می کند. همچنین قادر خواهد بود محل وقوع خطا و سنسور معیوب را نیز معین کند.

در این پایان نامه چهار ساختار رؤیتگر را معرفی می کنیم. علاوه بر رؤیتگر ورودی نامعلوم، رؤیتگر لنبرگر<sup>۱</sup>، رؤیتگر اغتشاش، رؤیتگر انتگرالی نسبی و روابط بین ساختار این رؤیتگرها بررسی می شوند. همچنین مروری اجمالی خواهیم داشت بر الگوریتم بهینه سازی پرنندگان، مزایای استفاده از آن و چگونگی به کارگیری آن در طراحی یک رؤیتگر بهینه.

ما مسأله را بر اساس سیستم زیر دریایی بدون سرنشین ان پی اس<sup>۲</sup> فرمول بندی می کنیم. در ابتدا رؤیتگر تشخیص خطا را برای زیرسیستم های مجزا شده ی زیردریایی که در معرض خطای سنسور و

---

<sup>1</sup> -Luenberger Observer

<sup>2</sup> -Naval Postgraduate School (NPS)

اغتشاش هستند طراحی می کنیم. آنگاه یک روش هوشمند بر اساس الگوریتم بهینه سازی پرندگان برای بهبود عملکرد رؤیتگر ارائه می نماییم. در پایان با انجام شبیه سازی کارآیی روش ارائه شده را نشان می دهیم.

### ۱-۳ مطالب فصول بعدی

در فصل ۲ تعاریف مقدماتی خطا، انواع آن و سیستم های تشخیص خطا را شرح می دهیم. با نقش سیگنال باقیمانده در امر تشخیص خطا آشنا می شویم و به اهمیت مقاوم بودن این سیگنال در برابر اغتشاشات پی می بریم.

در فصل ۳ مفاهیم اساسی مسأله ی مدلسازی سیستم زیردریایی بدون سرنشین را ارائه کرده و آن را به دو زیرسیستم مجزای راندن و شیرجه تقسیم می کنیم. در نهایت مدل فضای حالت برای این زیرسیستم ها را به دست می آوریم.

در فصل ۴ اصول طراحی رؤیتگر ورودی نامعلوم و شرایط وجود آن را مطالعه می کنیم. علاوه بر این سه ساختار رؤیتگر دیگر معرفی می شوند. مقایسه ای از این ساختارها نیز ارائه خواهد شد.

در فصل ۵ با مفهوم بانک رؤیتگرها که در امر تشخیص و جداسازی خطای سنسور از آن بهره می بریم، آشنا می شویم. همچنین مروری خواهیم داشت بر الگوریتم بهینه سازی پرندگان و استفاده از آن در امر بهینه سازی رؤیتگر.

و در نهایت در فصل ۶ روش معرفی شده در فصل ۵ را بر روی زیرسیستم های به دست آمده در فصل ۳ پیاده سازی کرده، نتایج شبیه سازی را ارائه می کنیم. در این فصل نقش کارآمد روش رؤیتگر ورودی



نامعلوم در امر تشخیص خطای سنسور را می توان مشاهده نمود. هم چنین بهبود عملکرد رُویتگر طراحی شده پس از بهینه سازی به وسیله ی الگوریتم بهینه سازی پرندگان نشان داده خواهد شد.



## فصل ٢- تشخيص خطأ



تشخیص خطا برای بهبود قابلیت اطمینان ، امنیت و کارایی بسیاری از فرآیندهای فنی مخصوصاً فرآیندهای مرتبط با امنیت مثل هواپیماها، قطارها، اتوموبیل ها، فرآیندهای قدرت و فرآیندهای شیمیایی حائز اهمیت می باشد. روش های کلاسیک محدود هستند و یا فقط به بررسی برخی متغیر های قابل اندازه گیری خروجی می پردازند، اطلاعات بیشتری را در دسترس قرار نمی دهند و معمولاً تشخیص یک خطا را میسر نمی سازند. قبل از آغاز بهتر است برخی اصول اساسی و تعاریف، مثل خطا، انواع خطا و سیستم های تشخیص خطا را معرفی کنیم.

## ۲-۱ چند تعریف

- خطا<sup>۱</sup> یک انحراف غیر مجاز حداقل یکی از ویژگی های مشخصه ی سیستم از شرایط قابل قبول، معمول یا استاندارد می باشد.
- شکست<sup>۲</sup> یک وقفه ی موقت در توانایی یک سیستم برای اجرای یک عمل مورد نیاز تحت شرایط عملکردی ویژه می باشد.
- بد عمل کردن<sup>۳</sup> یک بی نظمی متناوب در برآورده کردن عملکرد مطلوب سیستم می باشد.
- اغتشاش<sup>۴</sup> یک ورودی ناشناخته و کنترل نشده است که به سیستم وارد می شود.
- باقیمانده<sup>۵</sup> یک شاخص خطا، مبتنی بر انحراف بین اندازه گیری ها و محاسبات مبتنی بر معادلات مدل می باشد [۴].

---

<sup>1</sup> -Fault

<sup>2</sup> -Failure

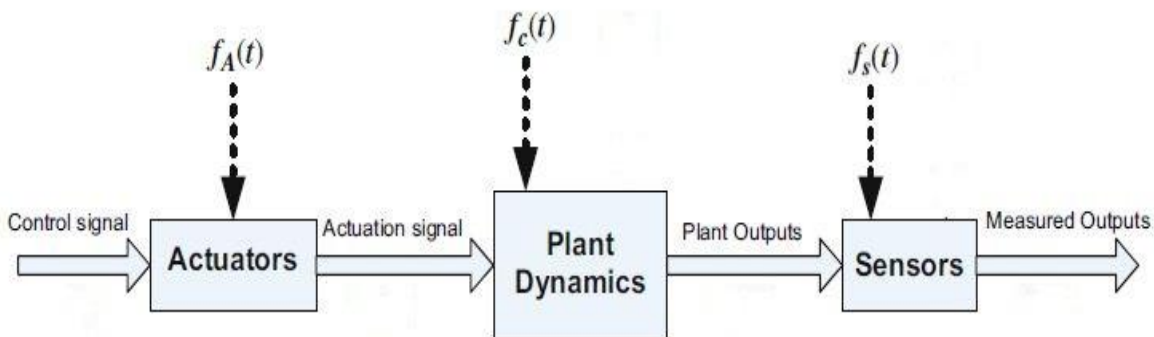
<sup>3</sup> -Malfunction

<sup>4</sup> -Disturbance

<sup>5</sup> -Residual

## ۲-۲ انواع خطا

از لحاظ مکانی، همانطور که در شکل (۱-۲) دیده می شود، خطاهایی که بر روی سیستم اتفاق می افتند می توانند به سه دسته تقسیم شوند.



شکل (۱-۲) مکان های احتمالی وقوع خطا [۶]

### ۲-۲-۱ خطاهای سنسور

سنسورها اساساً واسطه خروجی یک سیستم با دنیای بیرون هستند و اطلاعاتی را راجع به رفتار یک سیستم و حالت های داخلی اش منتقل می کنند. از این رو خطاهای سنسور می توانند افول عملکرد قابل توجهی را برای سیستم های تصمیم گیری یا فرآیند هایی که به جمع آوری داده برای تصمیم گیری نیاز دارند، به بار بیاورند. چنین سیستم هایی شامل، و نه محدود به، سیستم های کنترل فیدبک، سیستم های کنترل امنیت، سیستم های کنترل کیفیت، سیستم های ناوبری، سیستم های نظارت و شناسایی، سیستم های تخمین حالت، سیستم های بهینه سازی و سیستم های تشخیص خطا می شوند.

برای مثال در یک سیستم کنترل فیدبک، سنسورها یا برای اندازه گیری مستقیم حالت های سیستم و یا برای تولید تخمین های حالت برای قانون کنترل فیدبک استفاده می شوند. بنابراین حضور خطاها در سنسورها ممکن است تخمین های حالت را خراب کند و متعاقباً منجر به کنترل نا کارآمد و/ یا ناصحیح

گردد. خطا/ شکست های عمده ی سنسور شامل این موارد می شود: خطای بایاس، خطای افول عملکرد (از دست دادن صحت)، قطع ارتباط، خطای کالیبراسیون و ... [۶].

## ۲-۲-۲ خطاهای محرک

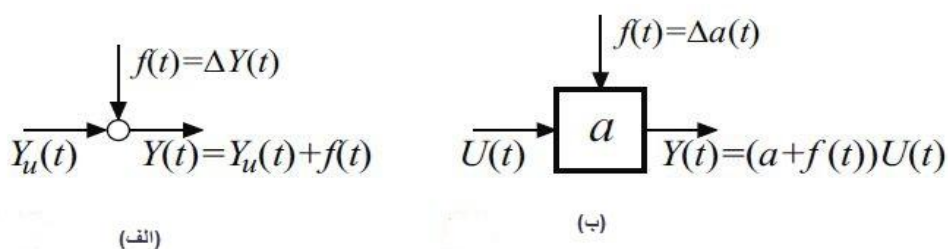
در بسیاری از سیستم های الکترومکانیکی یا الکتروشیمیایی، سیگنال های کنترل از کنترل کننده ( یک میکروپروسسور یا یک میکروکنترلر) به طور مستقیم به سیستم قابل اعمال نیستند. محرک ها مورد نیاز هستند تا سیگنال های کنترلی را به سیگنال های تحریک مناسب، مثل گشتاور ها و نیرو ها برای راه اندازی سیستم تبدیل کنند. از این رو محرک ها مجریان کنترل یک سیستم هستند. بدین جهت عواقب وقوع وضعیت نامطلوب در محرک های سیستم از مصرف انرژی بالاتر ( در اثر یک خطای ابتدایی) تا از دست دادن کامل کنترل ( در اثر شکست کلی محرک) قابل تغییر است.

خطاهای محرک معمولاً به نوع محرک بستگی دارند، مثل اشباع شدگی، نشتی، خاموشی و ... [۶].

## ۲-۲-۳ خطاهای اجزا

خطاهای اجزا غالباً به عنوان مواردی که برخی تغییرات شرایط در سیستم، معادلات دینامیکی نامی سیستم را بی اعتبار کنند، شناخته می شوند. ارائه ی ریاضیاتی یا مدلسازی این خطاها در برخی مواقع بسیار مشکل است. با این وجود، خطاهای اجزا به وسیله ی یک تغییر در معادلات حالت سیستم، که می تواند یک تغییر پارامتری یا یک تغییر ساختاری باشد، قابل ارائه است. خطاهای اجزا می توانند عواقب ناچیز تا بسیار وخیمی را به دنبال داشته باشند. مثلاً یک شکست غیر منتظره در جعبه دنده ی یک هلیکوپتر می تواند ضرر اقتصادی هنگفت و نیز یک آسیب کشنده به همراه داشته باشد. این خطاها ممکن است در اثر فرسوده شدن و از هم گسیختن اجزای سیستم رخ دهد لذا بی نهایت حیاتی است که این نوع از خطاها در مراحل اولیه ی افول جزء، برای پرهیز از عواقب فاجعه آمیز آشکارسازی شوند [۶].

همچنین می توان بر حسب آنکه چطور خطاها بر روی متغیرهای سیستم اثر می گذارند، آنها را به دو دسته ی خطاهای جمع شونده و ضرب شونده تقسیم کرد. خطاهای جمع شونده بر روی متغیرها به صورت جمع شونده تأثیر می گذارند؛ مثل آفست سنسورها، در حالیکه خطاهای ضرب شونده معمولاً با یک عامل ضربی بر روی پارامترهای سیستم اثر می گذارند. در شکل (۲-۲) در (الف) خطای جمع شونده و در شکل (ب) خطای ضرب شونده قابل مشاهده است.

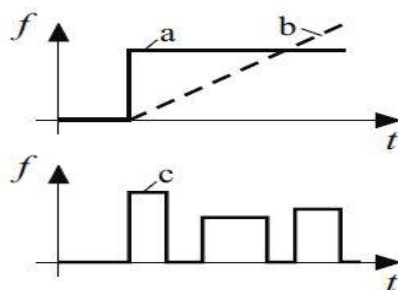


شکل (۲-۲) مدل های خطا: (الف) خطای جمع شونده برای یک سیگنال خروجی؛ (ب) خطای ضرب شونده [۴]  
 روش دیگر طبقه بندی خطاها مبتنی بر زمان است. خطای ناگهانی (پله ای) یک تغییر نامطلوب و ناگهانی را نشان می دهد در حالیکه خطای افزایشنده (شیب) خطایی است که منجر به لغزش های نامطلوب از مقادیر سالم شده و با گذشت زمان رفته رفته افزایش می یابد. خطاهای تناوبی خطاهایی هستند که با وقفه رخ می دهند. خطای ناگهانی، افزایشنده و تناوبی در شکل (۳-۲) نشان داده شده اند.

## ۲-۳ انواع شکست ها و بد عمل کردن ها

به طور کلی با سه دسته از شکست ها و بد عمل کردن ها مواجهیم که به صورت زیر شرح داده می شوند [۸]:





شکل (۲-۳) وابستگی زمانی خطاها: (a) ناگهانی؛ (b) افزایشده؛ (c) تناوبی [۵]

### ۲-۳-۱ تغییرات پارامتری فاحش در یک مدل

در هر مدلسازی، فرآیندهایی وجود دارند که مدل نمی شوند اما می توانند به عنوان "پارامتر"هایی جمع شده و بر روی سیستم تأثیر بگذارند. شکست های پارامتری وقتی رخ می دهند که اغتشاشی وجود داشته باشد که از محیط از طریق یک یا چند متغیر مستقل وارد فرآیند شود. یک مثال از چنین عملکرد بدی، یک تغییر در غلظت واکنش دهنده نسبت به مقدار نرمال یا حالت دائمی اش در تغذیه ی یک رآکتور می باشد. در اینجا غلظت، یک متغیر مستقل است یعنی دینامیک هایش با دینامیک های سیستم تأمین نمی شود.

### ۲-۳-۲ تغییرات ساختاری

تغییرات ساختاری به تغییرات در خود فرآیند اشاره می کنند. آنها در نتیجه ی شکست های سخت در تجهیزات به وجود می آیند. " بد عمل کردن ساختاری " منجر به یک تغییر در جریان اطلاعات بین متغیرهای مختلف می شود. برای مقابله با چنین شکستی در یک سیستم تشخیص، به تفکیک معادلات مناسب مدل و دوباره سازی دیگر معادلات برای توصیف وضعیت کنونی فرآیند نیازمندیم.

## ۲-۳-۳ بد عمل کردن سنسورها و محرک ها

شکست های فاحش غالباً برای سنسورها و محرک ها اتفاق می افتد. بعضی از ادوات سیگنال های فیدبک را تأمین می کنند که برای کنترل فرآیند ضروری هستند. یک شکست در یکی از ادوات ممکن است باعث شود که متغیر های حالت فرآیند و رای حدود قابل قبول منحرف شوند مگر اینکه شکست سریعاً تشخیص داده شود و کار های اصلاحی به موقع صورت بگیرند. در غیر این صورت عملکرد سیستم به شدت تنزل خواهد کرد.

## ۲-۴ تشخیص خطا

به طور کلی روش های تشخیص خطا به دو گروه عمده تقسیم می شوند؛ آنهایی که از مدل فرآیند برای بیان اطلاعات درباره ی فیزیک آن استفاده نمی کنند و آنهایی که مبتنی بر مدل فرآیند هستند. روش مبتنی بر مدل، خود شامل دو روش عمده می شود؛ روش "تحلیلی" که در آن فرآیند بر حسب روابط تابعی ریاضی بین ورودی ها و خروجی های سیستم بیان می شود و روش "کیفی" که در آن این روابط بر حسب توابع کیفی بیان می گردند.

## ۲-۴-۱ روش های بدون مدل

در این روش، رویکرد های تشخیص خطا از مدل ریاضی سیستم مانیتور شده استفاده نمی کنند. آنها می توانند به روش افزونگی سخت افزاری، بررسی حد، طیف فرکانسی، آنالیز آماری و استدلال منطقی و . . . تقسیم شوند که در اینجا به توضیح برخی از آنها می پردازیم.

- افزونگی سخت افزاری: در این روش، چند سنسور برای اندازه گیری یک متغیر فیزیکی نصب می شوند. هر تفاوت جدی بین اندازه گیری ها، یک خطای سنسور را نشان می دهد. افزونگی فیزیکی هزینه ی سخت افزار اضافی و وزن اضافی را به همراه دارد.

- بررسی حد: در این روش اندازه گیری متغیر های سیستم با حدود از پیش تعیین شده توسط یک کامپیوتر مقایسه می شوند. تجاوز از آستانه، نشان دهنده ی یک وضعیت خطاست.
- آنالیز طیفی اندازه گیری های یک فرآیند: بیشتر متغیر های فرآیند یک طیف فرکانسی نوعی تحت شرایط عملکردی نرمال را نشان می دهند که هر گونه عدم تطابق با آن نشان دهنده ناهنجاری است.
- استدلال منطقی: این روش ها یک کلاس وسیع را تشکیل می دهند که مکمل روش های ذکر شده در بالاست و هدفشان ارزیابی سیگنال های خطای به دست آمده از سخت افزار یا نرم افزار تشخیص است. ساده ترین روش ها شامل درخت های منطقی قوانین اگر- آنگاه می شود: "اگر سیگنال خطا  $\emptyset_i$  و سیگنال خطا  $\emptyset_j$  آنگاه نتیجه گیری". هر نتیجه گیری می تواند به عنوان یک سیگنال خطا در قانون بعدی عمل کند تا اینکه نتیجه گیری نهایی حاصل شود [۸] و [۹].

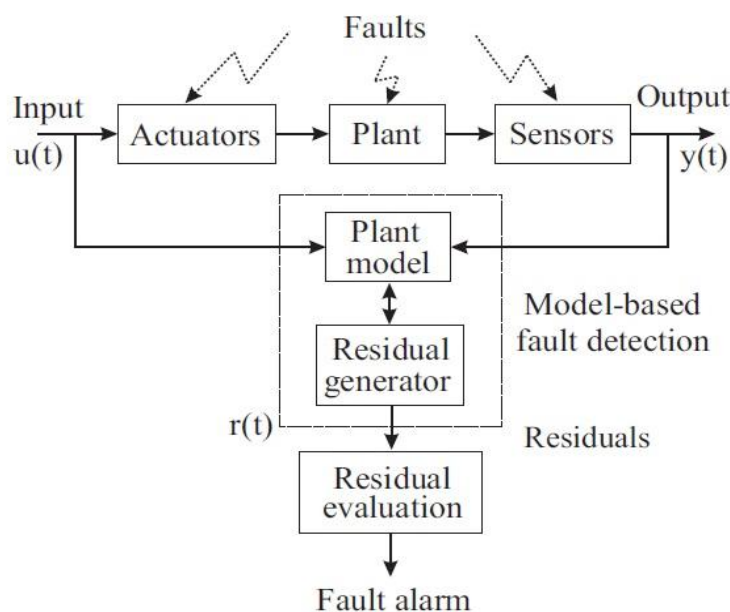
## ۲-۴-۲ تشخیص خطا مبتنی بر مدل

روش مبتنی بر مدل از روابط بین چندین متغیر اندازه گیری شده، برای استخراج اطلاعات از تغییرات محتمل به وجود آمده توسط خطاها استفاده می کند. شکل (۲-۴) یک شمای کلی از ساختار تشخیص خطای مبتنی بر مدل را نشان می دهد.

با تکیه بر یک مدل واضح از فرآیند مانیتور شده، همه ی روش های مبتنی بر مدل به دو مرحله نیازمندند: تولید باقیمانده و ارزیابی مقدار باقیمانده. اهداف اساسی این دو مرحله به این صورت شرح داده می شوند.

- مرحله ی اول، تولید باقیمانده: این مرحله تناقضاتی را بین رفتار حقیقی و رفتار مورد انتظار تولید می کند. چنین تناقضاتی باقیمانده نامیده می شوند که خطاهای بالقوه ی سیستم را بازتاب می دهند. در حالت عادی، تحت شرایط بدون خطا، مقدار باقیمانده باید صفر یا نزدیک به صفر باشد، در حالیکه وقتی خطایی اتفاق می افتد باید به طور قابل ملاحظه ای با صفر فرق کند.

برای بررسی تناقض نیاز به نوعی از افزونگی است که در ادامه شرح داده خواهد شد. باقیمانده به طور ایده آل تنها اطلاعات خطا را حمل می کند و برای حصول اطمینان از تشخیص خطا، اتلاف اطلاعات خطا در تولید باقیمانده باید تا حد امکان کوچک باشد [۹].



شکل (۲-۴) ساختار کلی سیستم تشخیص خطای مبتنی بر مدل [۴]

- مرحله ی دوم، ارزیابی مقدار باقیمانده: هر الگوریتم تشخیص خطا باید شامل بخش تصمیم گیری باشد که در آن ارزیابی مقدار باقیمانده انجام می گیرد. در این بخش یک تصمیم در رابطه با وجود یک خطا به همراه یک اشاره ی محتمل به رخدادی که سیگنال خطای متناظر را تولید کرده (مربوط به موضوع جداسازی خطا) انجام می گیرد. این سیگنال باید اطلاعات راجع به تأثیر خطا بر روی باقیمانده را حمل کند.

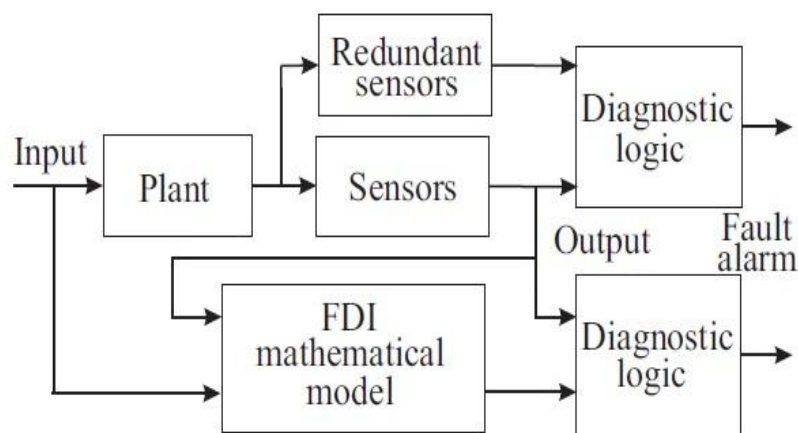
بیشتر کارها در مسأله ی تشخیص خطای مبتنی بر مدل بر تولید باقیمانده تمرکز می کند زیرا اگر باقیمانده به خوبی طراحی شود مسأله ی تصمیم گیری نسبتاً سراسر است خواهد بود [۹].

## ۲-۴-۳ افزونگی

- افزونگی سخت افزاری: یک روش سنتی برای تشخیص خطا در یک زمینه ی کاربردی وسیع تر، مبتنی بر افزونگی سخت افزاری یا فیزیکی است. این روش به سنسور های مازاد نیاز دارد و از مسیر های چندگانه ای از سنسورها، محرک ها، کامپیوتر و نرم افزار برای اندازه گیری و/ یا کنترل یک متغیر خاص استفاده می کند. این روش در کنترل سیستم هایی که از لحاظ امنیتی پر اهمیت هستند؛ مثل وسایل نقلیه ی هوایی و فرآیند های قدرت و هسته ای مورد بهره برداری قرار گرفته است. یکی از مزایای این روش این است که اطمینان افزونگی کاملاً مرتبط با کیفیت سخت افزار ( سنسور یا محرک) بوده و به آنالیزهای کارشناسانه احتیاج ندارد. اگرچه، عملی بودن آن محدود است زیرا هم هزینه ی اضافی و هم فضای اضافی برای جا دادن تجهیزات اضافی مورد نیاز است. در مواجهه با این تناقض بین قابلیت اطمینان و هزینه ی اضافی برای تأمین سخت افزار بیشتر، می توان از مقادیر اندازه گیری شده ی متفاوتی استفاده کرد تا با هم مقایسه شوند، به جای آنکه هر سخت افزار به طور مجزا تکرار شود. روش افزونگی تحلیلی که مربوط به مدلسازی ریاضی است، یک جایگزین مناسب برای مواجهه با این نوع از مشکلات را ارائه می کند.
- افزونگی تحلیلی: افزونگی تحلیلی از وابستگی تابعی در بین متغیر های فرآیند به دست می آید و معمولاً به وسیله ی یک مجموعه از روابط جبری در بین حالت ها، ورودی ها و خروجی های سیستم تأمین می شود.

نقش افزونگی تحلیلی در سیستم های تشخیص خطا، بررسی رفتار حقیقی سیستم در برابر رفتار مدل برای تشخیص تناقض می باشد. هر تناقضی که به عنوان باقیمانده بیان شود، برای هدف تشخیص خطا

قابل استفاده است. اگر یک مدل به قدر کافی دقیق در دسترس باشد، وقتی که هیچ خطایی رخ نمی دهد باقیمانده باید به صفر نزدیک باشد و در غیر این صورت، باقیمانده ها مقادیر قابل توجهی را نشان می دهند. در شکل (۲-۵) یک مقایسه بین افزونگی سخت افزاری و افزونگی نرم افزاری برای درک بهتر مفاهیمشان قابل مشاهده است.

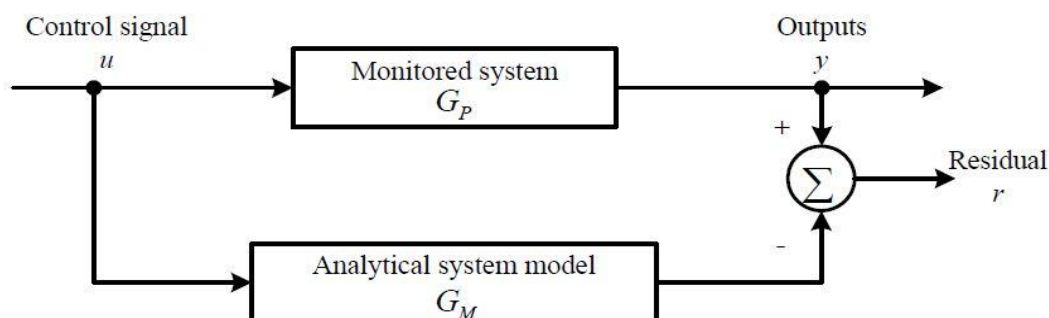


شکل (۲-۵) یک مقایسه بین افزونگی سخت افزاری و افزونگی نرم افزاری [۹]

مهم ترین مزیت روش مبتنی بر مدل این است که هیچ جزء سخت افزاری اضافی به منظور تحقق یک الگوریتم تشخیص خطا مورد نیاز نیست. یک الگوریتم تشخیص خطای مبتنی بر مدل بوسیله ی نرم افزار بر روی یک کامپیوتر کنترل فرآیند قابل پیاده سازی است. تحلیل نرم افزاری، از مدل ریاضی تحت بررسی استفاده می کند و بدین جهت اغلب از آن به عنوان روش تشخیص خطای مبتنی بر مدل نام برده می شود [۸] و [۹]. چند نمونه از روش های تولید باقیمانده در تشخیص خطای مبتنی بر مدل، تشخیص خطا با تخمین پارامتر، روش های بردار توازن، روش های مبتنی بر رؤیتگر و . . . می باشد که به طور مختصر شرح داده می شوند.

- تشخیص خطا با معادلات توازن: معادلات توازن به طور مستقیم میزان سازگاری بین خروجی های مدل و سیستم اندازه گیری شده را بررسی می کنند. بنا براین شهودی ترین روش تشخیص خطا می باشند. ایده ی اصلی این روش در شکل (۲-۶) نشان داده شده است.  $G_P$  سیستم مانیتور شده را ارائه می کند و  $G_M$  مدل تحلیلی سیستم می باشد. باقیمانده ی  $r$  مبتنی بر معادلات توازن به صورت ریاضیاتی در (۲-۱) با  $u$  به عنوان ورودی کنترل سیستم قابل نمایش است.

$$r = (G_P - G_M)u \quad (2-1)$$



شکل (۲-۶) تولید باقیمانده مبتنی بر معادلات توازن [۱۷]

در حالیکه از لحاظ محاسباتی کارآمدترین و ساده ترین روش برای پیاده سازی است، روش مبتنی بر معادلات توازن فرض می کند که پارامترهای مدل شناخته شده و ثابت هستند. از این رو باقیمانده های مبتنی بر این روش به دلیل اثر عدم قطعیت های سیستم در معرض مشکلات عدم صحت مدل هستند. برای غلبه بر مشکل مدل های نادقیق، روابط توازن مقاوم در میانه ی دهه ی هشتاد معرفی شدند [۱۷].

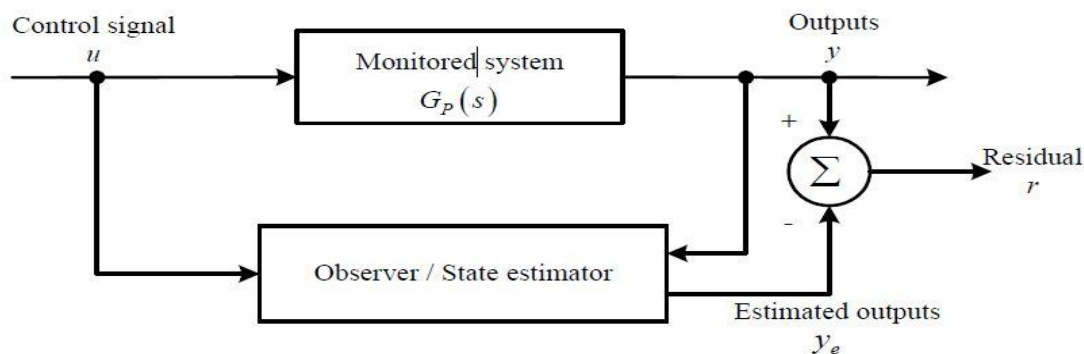
آیزرمان<sup>۱</sup> در [۱۸] مدعی شد که معادلات توازن مستقیم ترین راه به شناسایی خطاهای جمع شونده است. این روش به خطاهای جمع شونده ی ناگهانی بسیار حساس است، اگرچه در شناسایی تغییرات پارامتری

<sup>1</sup>-Iserrmann

به وجود آمده توسط خطاهای ضرب شونده مشکل دارد. از آنجاییکه محاسباتش کم است، معادلات توازن الگوریتم تشخیص خطای غالب برای خطاهای جمع شونده است.

- روش های مبتنی بر رؤیتگر تشخیص خطا: اگر یک سیستم رؤیت پذیر باشد، رؤیتگرها برای تخمین حالت های یک سیستم با استفاده از داده های اندازه گیری شده، قابل استفاده هستند. آنگاه حالت های تخمین زده شده برای رؤیت خروجی های سیستم استفاده می شوند. رؤیتگرهای تشخیص خطا از خطای بین خروجی های اندازه گیری شده و تخمین زده شده به عنوان باقیمانده استفاده می کنند. بر طبق شکل (۲-۷)،  $y_e$  بر خروجی سیستم تخمین زده شده،  $y$  بر خروجی سیستم اندازه گیری شده و  $r$  بر باقیمانده دلالت می کند که بر طبق رابطه ی (۲-۲) قابل محاسبه است:

$$r = y_e - y \quad (2-2)$$



شکل (۲-۷) رؤیتگر تشخیص خطا (۱۷)

این روش به طور خاص هنگام سر و کار داشتن با مواردی که در آنها حالت ها یا خروجی قابل اندازه گیری نیستند مفید است. مشابه با روش معادلات توازن، رؤیتگرهای تشخیص هم به دانش صحیح از پارامترهای مدل سیستم نیازمندند. از آنجاییکه مدل های صحیح اغلب برای سیستم های عملی در دسترس نیستند، طراحی مقاوم برای رؤیتگرهای تشخیص خطا مهم است [۱۷].



لازم به ذکر است که وقتی از یک رؤیتگر برای اهداف تشخیص خطا استفاده می شود، تخمین خروجی ضروری است، در حالیکه تخمین بردار حالت معمولاً مورد نیاز نمی باشد. بعلاوه، مزیت استفاده از رؤیتگر انعطاف پذیری در انتخاب بهره هایش می باشد که منجر به گوناگونی وسیعی از طرح های تشخیص خطا می شود [۹].

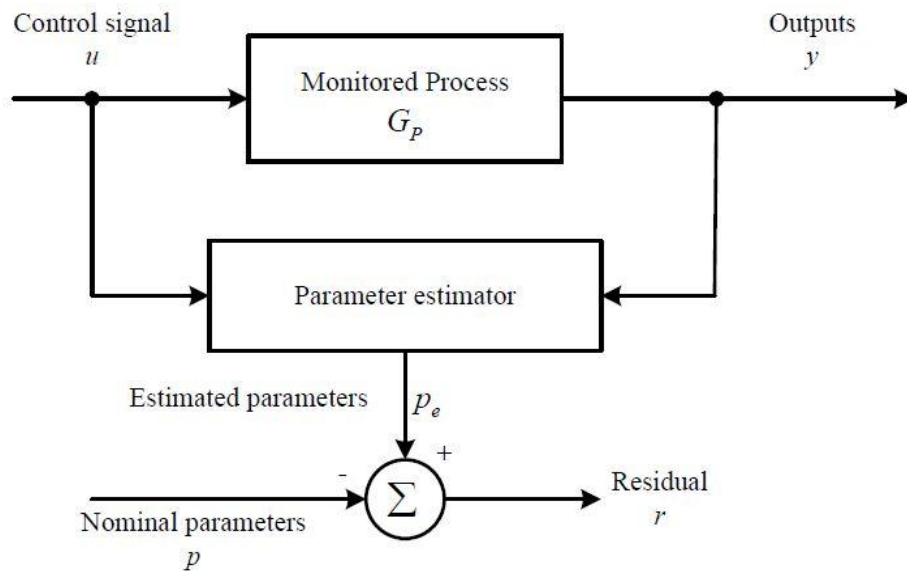
- تولید باقیمانده با تخمین پارامتر: هم معادلات توازن و هم رؤیتگر های تشخیص خطا به یک مدل صحیح از سیستم وابسته اند. در برخی مسائل پارامترهای مدل یک سیستم ممکن است به صورت نرمال در دامنه های معین به صورت پیوسته تغییر کند. از آنجا که دو مدل بالا نمی توانند از پس این مشکل بر بیایند، تشخیص خطای مبتنی بر تخمین پارامتر انجام می شود. روش های تخمین پارامتر تنها احتیاج دارند که ساختار مدل سیستم شناخته شده باشد. پارامترهای مدل تخمین زده می شوند و با مقادیرشان در طی شرایط عملکرد نرمال مقایسه می شوند. مطابق شکل (۲-۸)،  $P_e$  پارامتر تخمین زده شده را نمایش می دهد،  $P$  مقدار نامی  $P_e$  و  $r$  باقیمانده را نمایش می دهد که روابط ریاضیاتی‌شان در (۲-۳) آمده است [۱۷].

$$r = p - P_e \quad (۲-۳)$$

آیزرمان در [۱۹] بیان می کند که تخمین پارامتر بینش عمیق تری را به داخل دینامک های سیستم فراهم کرده و از این رو تشخیص خطا را آسان تر می کند. در بسیاری موارد تغییر در پارامترهای مدل به طور مستقیم به خطاهای داخلی سیستم مربوطند از این رو روش تخمین پارامتر به طور خاص برای تشخیص خطاهای ضرب شونده مناسب است. هم چنین تخمین پارامتر، تشخیص تغییرات بسیار کوچک شرایط سیستم، شامل خطاهایی که به طور آهسته توسعه می یابند را میسر می سازد.

## ۴-۴-۲ عدم قطعیت مدل و تشخیص خطا

همانطور که قبلاً ذکر شد، روش های تشخیص خطای مبتنی بر مدل از مدل ریاضی سیستم مانیتور شده استفاده می کنند. اگرچه، به علت حضور عدم قطعیت های مدل، پارامترهای نامعلوم، اغتشاش و نویز، یک مدل دقیق و کامل از سیستم مانیتور شده هرگز در دسترس نیست.



شکل (۸-۲) تخمین پارامتر [۱۷]

از این رو حتی اگر هیچ خطای فرآیندی هم وجود نداشته باشد، همواره یک عدم تطابق بین فرآیند حقیقی و مدل ریاضی اش وجود دارد. چنین ناهم خوانی هایی موجب بروز مشکلاتی در تشخیص خطا می شوند؛ مخصوصاً اینکه به عنوان منابع هشدارهای اشتباهی یا هشدارهای از دست رفته عمل می کنند. بنابراین تأثیر مدل کردن عدم قطعیت ها، اغتشاشات و نویزها، اساسی ترین نکته در تشخیص خطای مبتنی بر مدل می باشد.

برای غلبه بر چنین مشکلاتی، تشخیص خطای مبتنی بر مدل باید به عدم قطعیت های مدلسازی غیر حساس باشد. در بعضی مواقع یک کاهش در حساسیت به عدم قطعیت مدلسازی مسأله را حل نمی کند

چون این کاهش حساسیت ممکن است با کاهش حساسیت به خطاها همراه باشد. یک فرمول بندی معنی دارتر مسأله ی تشخیص خطا، افزایش عدم حساسیت به عدم قطعیت مدلسازی به منظور تأمین افزایش حساسیت نسبت به خطا می باشد.

## ۲-۴-۵ مسأله ی مقاوم بودن در تشخیص خطا

در زمینه کنترل اتوماتیک، اصطلاح مقاوم بودن برای توصیف عدم حساسیت یا تغییر ناپذیری عملکرد سیستم های کنترل نسبت به اغتشاشات، عدم انطباقات مدل-فرآیند یا تغییرات پارامتری استفاده می شود. از طرفی ساختار های تشخیص خطا حتماً باید نسبت به اغتشاشات ذکر شده مقاوم باشند اما برخلاف سیستم های کنترل اتوماتیک نباید نسبت به خطاهای حقیقی مقاوم باشند. برعکس، در حال تأمین مقاوم بودن نسبت به اغتشاشات، طراح باید حساسیت تشخیص خطا را به خطاها حفظ کند و یا حتی افزایش دهد. مقاوم بودن به مانند ویژگی های حساس بودن باید مستقل از مدهای خطاها و اغتشاشات به خصوص باشد.

به طور کلی مسأله ی تشخیص خطای مقاوم به تولید باقیمانده ی مقاوم که ارزیابی باقیمانده ی مقاوم را به دنبال دارد می پردازد. حضور اغتشاشات، نویز و عدم قطعیت های مدلسازی منجر به تولید باقیمانده-هایی می شود که علاوه بر خطاها، به نویز و اغتشاشات هم مرتبط باشند. برای افزایش اطمینان، یک تشخیص خطای مقاوم ضروری است. یک ساختار تشخیص خطای مقاوم طوری طراحی می شود که حساسیت به خطا و اجتناب از حساسیت به نویز و اثرات عدم قطعیت مدل را تأمین کند. چالش بر انگیزترین دستاورد در روش های تشخیص خطا رسیدن به مجزا سازی کامل بین اثرات خطاهای مختلف و یا بین اثرات خطاها و ورودی های نامعلوم (اغتشاش، نویز و...) به طور مستقل از مدهای خطا می باشد [۲۰].



### فصل ۳- معرفی وسیله ی نقلیه ی زیر دریایی



اولین گام در جهت تشخیص خطا در زیر دریایی های بدون سرنشین، مدل سازی آن را در بر می گیرد. شرح مفصل تئوری مدل سازی در زیر دریایی های بدون سرنشین ورای هدف بحث حاضر است اگرچه ارائه ی مفاهیم اساسی مسأله ی مدل سازی مفید می باشد.

### ۳-۱-دینامیک های وسیله ی نقلیه ی زیر دریایی

مدلسازی زیردریایی های بدون سرنشین همانند مدل سازی دیگر وسایل نقلیه ی دریایی حرکت را در شش درجه ی آزادی بررسی می کند. شش جزء حرکت در وسایل نقلیه ی زیردریایی از این قرارند<sup>۱</sup> [۲۱]: سرج، اسوی، هیو، رول، پیچ و یاو.

نمادگذاری ها در جدول (۱-۳) نشان داده شده اند.

شش مختصات مستقل، موقعیت و جهت گیری وسیله ی نقلیه را مشخص می کنند. سه مختصات اول  $(x, y, z)$  موقعیت را نشان می دهند. مشتقات زمانیشان  $(u, v, w)$  حرکت انتقالی در امتداد محورهای  $X_0, Y_0, Z_0$  را توصیف می کنند. سه مختصات آخر  $(\phi, \theta, \psi)$  زوایای اوپلر هستند که جهت گیری را نشان می دهند. مشتقات زمانیشان  $(p, q, r)$  حرکت چرخشی را توصیف می کنند. این کمیت ها

بر اساس نماد گذاری اسنیم<sup>۲</sup> تعریف می شوند [۲۱].

شکل (۱-۳) دو چارچوب مختصاتی را نشان می دهد؛ چارچوب بدنه-ثابت  $B (X_0 Y_0 Z_0)$  و چارچوب اینرسی-ثابت  $I (XYZ)$ . ما حرکت چارچوب بدنه-ثابت را نسبت به چارچوب مرجع اینرسی-ثابت شرح می دهیم. معمولاً مبدأ  $O$  از چارچوب  $B$  را در مرکز جاذبه  $CG$  در نظر می گیریم.

---

<sup>1</sup> -surge, sway, heave, roll, pitch, yaw

<sup>2</sup> -Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME)

جدول (۱-۳) نمادگذاری های استفاده شده برای وسیله ی نقلیه ی زیر دریایی [۲۲]

موقعیت ها و زوایای اویلر	سرعت های خطی و زاویه ای	نیروها و گشتاورها	شش جزء حرکت
$x$	$u$	$X$	(حرکت در جهت $x$ ) <i>surge</i>
$y$	$v$	$Y$	(حرکت در جهت $y$ ) <i>sway</i>
$z$	$w$	$Z$	(حرکت در جهت $z$ ) <i>heave</i>
$\phi$	$p$	$K$	(چرخش به دور محور $x$ ) <i>roll</i>
$\theta$	$q$	$M$	(چرخش به دور محور $y$ ) <i>pitch</i>
$\psi$	$r$	$N$	(چرخش به دور محور $z$ ) <i>yaw</i>

محورهای بدنه-ثابت  $X_0, Y_0, Z_0$  با محورهای اصلی از اینرسی مقارن هستند به طوریکه محور طولی  $X_0$  از قسمت عقب به سمت جلوی کشتی، محور عرضی  $Y_0$  به سمت راست کشتی و محور قائم  $Z_0$  از بالا به پایین کشتی نشانه می رود.

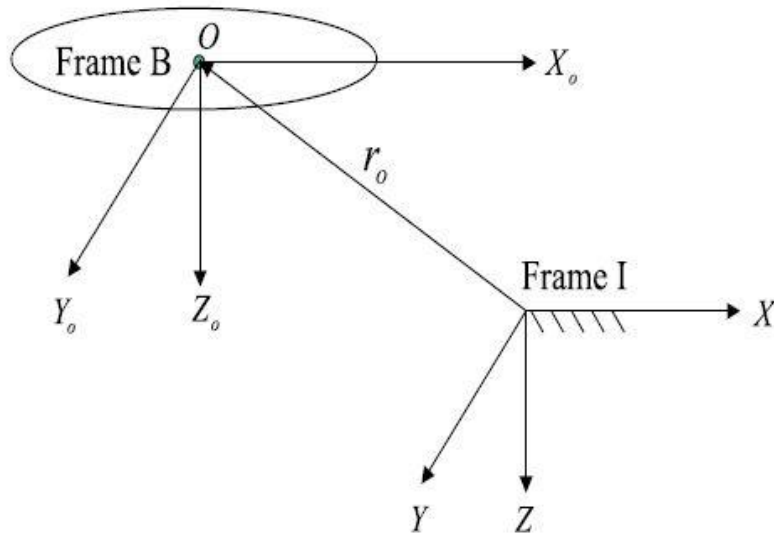
ما موقعیت و جهت گیری کشتی  $(x, y, z, \phi, \theta, \psi)$  را نسبت به چارچوب  $I$  و سرعت های خطی و زاویه-ای کشتی  $(u, v, w, p, q, r)$  را نسبت به چارچوب  $B$  بیان می کنیم.

بادر نظر گرفتن  $v$  به عنوان بردار سرعت خطی و زاویه ای زیردریایی در چارچوب  $B$ ، و  $\eta$  به عنوان بردار موقعیت و جهت گیری زیردریایی در چارچوب  $I$ ، داریم:

$$v = [v_1^T, v_2^T]^T = [u, v, w, p, q, r]^T \quad (۱-۳)$$

$$\eta = [\eta_1^T, \eta_2^T]^T = [x, y, z, \phi, \theta, \psi]^T \quad (۲-۳)$$





شکل (۱-۳) چارچوب های مرجع بدنه-ثابت  $B$  و لختی-ثابت  $I$  [۲۳]

تبدیل زاویه ای اویلر در معادله ی (۳-۳) این دو بردار را به هم مربوط می کند [۲۳].

$$\dot{\eta} = J(\eta)v \quad (۳-۳)$$

### ۲-۳ معادلات حرکت برای زیردریایی های بدون سرنشین

معادلات دینامیکی غیر خطی با شش درجه ی آزادی را در یک فرم فشرده بیان می شود [۲۱]:

$$M\dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \tau \quad (۴-۳)$$

که  $M$  یک ماتریس اینرسی  $6 \times 6$  شامل جرم افزوده ی هیدرودینامیک،  $C(v)$  یک ماتریس کوریولیس<sup>۱</sup> و نیروهای مرکزگرا،  $D(v)$  ماتریس میرایی هیدرودینامیک،  $g(\eta)$  بردار جاذبه و نیروهای شناورسازی و  $\tau$  بردار ورودی کنترل است که نیروها و گشتاور هایی را که بر روی زیردریایی عمل می کنند توصیف می کند.

<sup>۱</sup>-Coriolis

- جرم افزوده و اینرسی: وقتی که یک جسم صلب در یک سیال حرکت می کند، اینرسی افزوده ی سیال که بدنه را احاطه کرده و با حرکت آن وسیله شتاب دار می شود، باید در نظر گرفته شود. این پدیده در روباتیک صنعتی قابل چشم پوشی است زیرا چگالی هوا خیلی کمتر از چگالی یک سیستم مکانیکی در حال حرکت می باشد. اما در روباتیک زیردریایی چگالی آب  $\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$  است که قابل مقایسه با چگالی وسیله ی نقلیه می باشد [۲۲].
- میرایی هیدرودینامیک: میرایی هیدرودینامیک در وسایل نقلیه ی دریایی از عوامل متعددی ناشی می شود، عواملی مانند نوسانات وارد شده به بدنه که منجر به میرایی پنهان (بالقوه) می شود؛ اصطکاک پوسته که بر حرکت فرکانس پایین وسیله تأثیر می گذارد؛ میرایی رانش موج که اثر میرایی غالب در حرکت سرج می باشد و می تواند به عنوان یک مقاومت افزوده برای زیردریایی های که در امواج پیشروی می کنند شناخته شود. در مسیرهای یاو و اسوی اثر میرایی غالب، جریان های گردابی می باشند؛ حرکت یک سیال باعث جداسازی جریان می شود، در صورتیکه بدنه ای استوانه-ای در حال حرکت در مسیری قائم بر محورش باشد، نتیجه یک نیروی پریودیک قائم هم بر سرعت و هم بر محور خواهد بود. این پدیده ممکن است باعث نوسانات کابل ها و دیگر تجهیزات زیردریایی شود [۲۲].
- جاذبه و شناورسازی: وقتی یک جسم صلب به طور کامل یا تا حدی در سیال غوطه ور می شود، تحت تأثیر جاذبه دو نیروی دیگر باید لحاظ شوند: نیروی گرانشی و شناورسازی. نیروی شناورسازی تنها اثر ایستابی<sup>۱</sup> می باشد، یعنی این نیرو تابعی از حرکت نسبی بین بدنه و سیال نمی باشد.

---

<sup>1</sup>-Hydrostatic

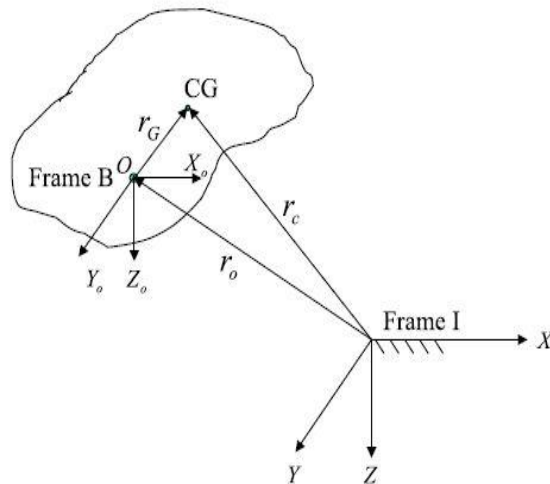
و عرض جغرافیایی تغییر می کند. اگرچه این مقدار برای بیشتر موارد به جز سیستم های ناوبری ماندی صحیح می باشد.

برای یک بدنه ی به طور کامل غوطه ور محاسبه ی این اثرات دینامیکی سراسر است. وزن بدنه ی

غوطه ور به صورت  $W = m\|g^I\|$  تعریف می شود، در حالیکه شناورسازی اش  $B = \rho\nabla\|g^I\|$

می باشد که  $\nabla$  حجم وسیله و  $m$  جرم آن است. برای تعیین  $g(\eta)$  بردار جاذبه و نیروهای شناورسازی هر دو عامل در نظر گرفته می شوند [۲۲].

شکل (۲-۳) موقعیت مبدأ را نسبت به مرکز جاذبه در چارجوب  $B$  نمایش می دهد. ما می توانیم معادلات کلی حرکت جسم صلب را با انتخاب مبدأ سیستم مختصات بدنه-ثابت ساده سازی کنیم. فرض می کنیم تانسور (کشنده) لختی بدنه که متناظر با سیستم مختصاتی بدنه-ثابت  $X_0, Y_0, Z_0$  با مرکز  $O$  است به صورت رابطه ی (۳-۵) تعریف می شود.



شکل (۲-۳) مبدأ  $O$  و مرکز جاذبه  $CG$  در چارجوب بدنه-ثابت [۲۳]

$$I_o = \begin{bmatrix} I_x & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{yx} & I_y & -I_{yz} \\ -I_{zx} & -I_{zy} & I_z \end{bmatrix} \quad (5-3)$$

در اینجا  $I_x$  و  $I_y$  و  $I_z$ ، گشتاورهای لختی به ترتیب حول محورهای  $X_0$  و  $Y_0$  و  $Z_0$  می باشند.

حاصل ضرب های لختی هستند.  $I_{yz} = I_{zy}$  و  $I_{xz} = I_{zx}$  و  $I_{xy} = I_{yx}$

در زیردریایی های بدون سرنشین به دلیل شکل متقارنشان، می توان مرکز جاذبه را همان مبدأ در نظر

گرفت به طوریکه  $r_G = [0, 0, 0]$ . وقتی محورهای بدنه با محورهای اصلی اینرسی مقارن می شوند،

می توان دید که تانسور لختی حول مرکز جاذبه ی بدنه قطری است، یعنی  $I_c = \text{diag}(I_{xc}, I_{yc}, I_{zc})$ . این

روش منجر به معادلات ساده سازی شده ی زیر می شود [۲۳]:

$$m(\dot{u} - vr + wq) = X ; I_{xc}\dot{p} + (I_{zc} - I_{yc})qr = K \quad (6-3)$$

$$m(\dot{v} - wp + ur) = Y ; I_{yc}\dot{q} + (I_{xc} - I_{zc})rp = M \quad (7-3)$$

$$m(\dot{w} - uq + vp) = Z ; I_{zc}\dot{r} + (I_{yc} - I_{xc})pq = N \quad (8-3)$$

در معادلات حرکت جسم صلب که در بالا ذکر شده،  $m$  جرم بدنه است.

### ۳-۳ زیرسیستم های مجزا شده ی زیردریایی های بدون سرنشین

شکل (۳-۳) تصویری از زیر دریایی بدون سرنشین ان پی اس را نشان می دهد.

یک رویکرد کنترل برای زیردریایی های بدون سرنشین، مجزا کردن معادلات شش درجه آزادی حرکت به

زیرسیستم هایی است که با هم تعامل ندارند یا تعامل اندکی دارند و آنگاه طراحی یک کنترل کننده برای

هر زیرسیستم می باشد. برای طراحی سیستم کنترل مجزا شده، ما معادلات مرتبط حرکت برای عملکردهای مجزای راندن<sup>۱</sup>، شیرجه<sup>۲</sup> و سرعت را با یکدیگر گروه بندی می کنیم.



شکل (۳-۳) تصویر زیردریایی ان پی اس [۲۳]

. این تجزیه ها منجر به مدل های ساده شده ی زیردریایی های بدون سرنشین و طراحی های جداگانه ی سیستم کنترل برای زیرسیستم راندن، شیرجه و سرعت می شود. جدول (۲-۳) متغیرهای حالت و کنترل برای زیرسیستم های ذکر شده را به طور خلاصه نشان می دهد. هر زیرسیستم یک عنصر

---

<sup>1</sup> -Steering Subsystem

<sup>2</sup> -Diving Subsystem

کنترلی مجزا و حالت های چندگانه دارد. زیرسیستم راندن خطاهای هدایت را کنترل می کند، زیرسیستم شیرجه خطاهای عمق و پیچ را کنترل می کند و زیر سیستم سرعت پروانه ی موتور دی سی را کنترل می کند. ما حالت غلطش را در این کنترل مجهول می گذاریم. در بسیاری از کاربردهای زیردریایی بدون سرنشین منطقی است که فرض شود وسیله ی نقلیه در مرحله ی پرواز هیچگونه غلطش<sup>۱</sup> را تجربه نمی کند.

جدول (۲-۳) متغیرهای حالت و کنترل زیرسیستم های زیردریایی بدون سرنشین [۲۳]

زیرسیستم	متغیرهای حالت	ورودی های کنترل
<i>speed subsystem</i>	$u(t)$	$n(t)$
<i>steering subsystem</i>	$v(t), r(t), \psi(t)$	$\delta_r(t)$
<i>diving subsystem</i>	$w(t), q(t), \theta(t), z(t)$	$\delta_s(t)$

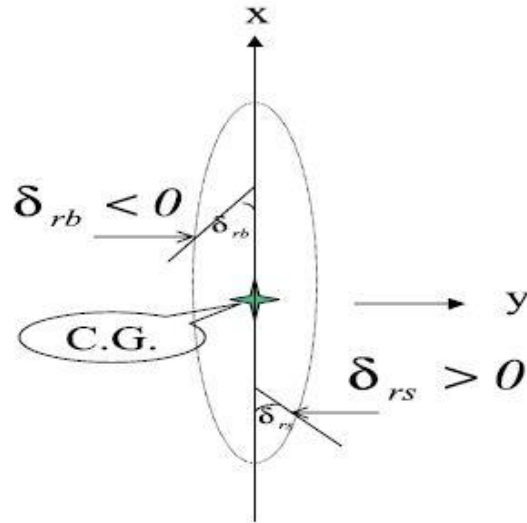
### ۳-۳-۱ زیرسیستم راندن در زیردریایی های بدون سرنشین

ورودی زیرسیستم راندن یک فرمان کنترل برای انحراف سکان جلوی کشتی و سکان عقب کشتی می باشد. خروجی زیرسیستم راندن ، نرخ چرخش یاو می باشد.

دو سکان جلویی وجود دارند؛ سکان جلویی- بالایی و سکان جلویی- پایینی و دو سکان عقبی؛ سکان عقبی- بالایی و سکان عقبی- پایینی. فرض می شود که سکان های جلویی و سکان های عقبی شکل و

<sup>1</sup>-Roll

اندازه ی کاملاً مشابهی دارند و فرمان انحراف را به طور مساوی اما در جهت های مختلف دریافت می کنند. شکل (۳-۴) جهت مخالف سکان جلویی و عقبی را نشان می دهد.



شکل (۳-۴) انحرافات سکان های عقبی و جلویی در زیرسیستم راندن [۲۳]

سه متغیر حالت برای سیستم راندن وجود دارند:  $v, \psi, r$ . نرخ چرخش یاو را نمایندگی می کند که به وسیله ی یک ژيروسکوپ نرخ یا سنسور نرخ به دست می آید؛  $\psi$  زاویه ی هدایت را نمایندگی می کند که به وسیله ی یک قطب نما تعیین می شود و  $v$  سرعت اسوی را نمایندگی می کند که از تخمین حالت قابل حصول است.

معادلات خطی حالت زیرسیستم راندن را به صورت زیر بیان می شود [۲۳]:

$$\begin{bmatrix} m - Y_v & mx_G - Y_r & 0 \\ mx_G - N_v & I_z - N_r & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_v & Y_r - mu_0 & 0 \\ N_v & N_r - mx_G u_0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_\delta \\ N_\delta \\ 0 \end{bmatrix} \delta_r \quad (۳-۹)$$

مقادیر ثابت ها و ضرایب در (۳-۹) همانطور که به زیردریایی های فینکس<sup>۱</sup> اعمال شد توسط ان پی اس تعیین می شود. با تنظیم مجدد آن به فرم فضای حالت خواهیم داشت [۲۳]:

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.6383 & -1.4439 & 0 \\ 0.0591 & -0.4659 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.1708 & -0.2650 \\ 0.1924 & 0.302 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{rb} \\ \delta_{rs} \end{bmatrix} \quad (۱۰-۳)$$

$$Y = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ \psi \end{bmatrix} \quad (۱۱-۳)$$

### ۳-۳-۲ زیرسیستم شیرجه در زیردریایی های بدون سرنشین

زیرسیستم شیرجه اساساً سرعت هیو ( $w$ )، سرعت زاویه ای در پیچ ( $q$ )، زاویه ی پیچ ( $\theta$ )، عمق  $z$  و انحرافات صفحه ی عقب زیردریایی  $\delta_s$  را در بر می گیرد. با فرض اینکه وسیله ی نقلیه در حال حرکت رو به جلو با یک سرعت ثابت رو به جلو  $u_0$  نسبت به ستون آب ( یک ستون فرضی از سطح آب تا رسوب کف) و یک پیچ صفر باشد، می توان معادلات خطی شده ی حرکت در هیو و پیچ را از [۲۳] به صورت زیر بیان کرد:

$$\begin{bmatrix} m - Z_{\dot{w}} & mx_G - Z_{\dot{q}} & 0 & 0 \\ mx_G - M_{\dot{w}} & I_y - M_{\dot{q}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{w} \\ \dot{q} \\ \dot{\theta} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \quad (۱۲-۳)$$

$$\begin{bmatrix} Z_w & Z_q - mu & 0 & 0 \\ M_w & M_q - mx_G u_0 & -BG_z W & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -u_0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w \\ q \\ \theta \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_\delta \\ M_\delta \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \delta_s$$

معادله ی (۳-۱۲) از جرم افزوده ی هیدرودینامیکی، میرایی خطی و اثرات انحراف صفحه ی عقبی زیردریایی برای توصیف گشتاورها و نیروهای خارجی استفاده می کند. از دینامیک های رول ( $\phi$ )

<sup>1</sup>-Pheonix



چشم پوشی شده است. این مسأله با طراحی فاصله ی عمودی بین مرکز جاذبه و مرکز تعادل شناورسازی با در نظر گرفتن  $\overline{BG_z}$  به قدر کافی بلند برای متوقف کردن گشتاور پروانه، توجیه می شود. برای یک وسیله که به طور خنثی شناور است، می توان نشان داد که رابطه ی بین  $\overline{BG_z}$  و زاویه ی رول در حالت دائم به این صورت است [۲۱]:

$$\phi_0 = \arcsin \left( \frac{P}{W\overline{BG_z}w_p} \right) \quad (۱۳-۳)$$

از آنجاییکه سرعت هیو ( $w$ ) در شیرجه خیلی کوچک است، کمتر از  $0.05 \text{ m/s}$  [۲۳]، معادله ی (۱۲-۳) به معادله ی زیر کاهش می یابد:

$$\begin{bmatrix} \dot{q} \\ \dot{\theta} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{M_q}{I_y - M\dot{q}} & -\frac{\overline{BG_z}W}{I_y - M\dot{q}} & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -u_0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q \\ \theta \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{M\delta}{I_y - M\dot{q}} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \delta_s \quad (۱۴-۳)$$

مقادیر ثابت ها و ضرایب در (۱۴-۳) همانطور که به زیردریایی های فینکس اعمال شد توسط ان پی اس تعیین می شود. با تنظیم مجدد آن به فرم فضای حالت خواهیم داشت [۲۳]:

$$\begin{bmatrix} \dot{q} \\ \dot{\theta} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.7589 & -0.1089 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -3 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q \\ \theta \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.0697 & -0.0929 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{bp} \\ \delta_{sp} \end{bmatrix} \quad (۱۵-۳)$$

که  $\delta_{bp}$  و  $\delta_{sp}$  انحراف صفحه ی جلویی و صفحه ی عقبی در زیر سیستم شیرجه را نشان می دهند. ما می توانیم عمق  $z$  را به وسیله ی یک فشار سنچ، زاویه ی  $\theta$  را به وسیله ی یک انحراف سنچ<sup>۱</sup> و نرخ  $q$  را به وسیله ی یک ژيروسکوپ یا سنسور نرخ اندازه بگیریم [۲۳].

<sup>۱</sup>-Inclinometer



## فصل ۴- ساختار رؤیتگرهای تشخیص خطا



روش های مبتنی بر رؤیتگر به صورت بسیار گسترده ای برای تولید باقیمانده مورد توجه قرار گرفته اند. از آنجاییکه رؤیتگر های حالت از یک خطای خروجی بین خروجی یک سیستم اندازه گیری شده و خروجی یک مدل قابل تنظیم استفاده می کنند، گزینه ی مناسبی برای تشخیص خطای مبتنی بر مدل هستند. در ادامه ساختار چند رؤیتگر معرفی و ارزیابی می شوند.

## ۴-۱ ساختارهای رؤیتگر

### ۴-۱-۱ رؤیتگر لبرگر

یک سیستم خطی تغییر ناپذیر با زمان بدون اغتشاش بوسیله ی روابط زیر توصیف می شود.

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (1-4)$$

$$y = Cx$$

که  $x \in R^n$  بردار حالت،  $y \in R^m$  بردار خروجی و  $u \in R^r$  بردار ورودی معلوم می باشد.  $A$ ،  $B$  و  $C$  ماتریس های معلوم با ابعاد مناسب می باشند و فرض می کنیم که سیستم رؤیت پذیر باشد.

با معلوم بودن ساختار و پارامترهای مدل سیستم، از یک رؤیتگر حالت برای بازسازی متغیرهای حالت غیر قابل اندازه گیری مبتنی بر ورودی و خروجی های اندازه گیری شده استفاده می شود.

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + L(y - C\hat{x}) + Bu \quad (2-4)$$

که  $\hat{x} \in R^n$  بردار تخمین زده شده ی حالت و  $L \in R^{n \times m}$  بهره ی رؤیتگر است. وقتی که رؤیتگر (۴-۳) به سیستم (۴-۱) و (۴-۲) اعمال می شود، خطای تخمین ( $e = x - \hat{x}$ ) در رابطه ی زیر صدق می کند.

$$\dot{e} = (A - LC)e \quad (3-4)$$

اگر تمامی مقادیر ویژه ی  $A - LC$  پایدار باشند،  $e$  به صورت مجانبی به صفر نزدیک می شود ( $\hat{x} \rightarrow x$ ) که با طراحی صحیح رؤیتگر قابل تحقق است.

اگر اغتشاش به سیستم (۴-۱) اضافه شود آنگاه رؤیتگر لنبرگر قادر به تخمین حالتها به طور صحیح نیست مگر اینکه قیدهای معینی به نرم سیگنال اغتشاش اعمال شود [۲۴].

#### ۴-۱-۲ رؤیتگر اغتشاش

در ابتدا یک سیستم را با اغتشاش ثابت در نظر بگیریم.

$$\dot{x} = Ax + Bu + Ed \quad (۴-۴)$$

$$\dot{d} = 0$$

$$y = Cx$$

سیستم فوق به شکل بهبود یافته ی زیر قابل بیان است:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & E \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (۵-۴)$$

$$y = [C \quad 0] \begin{bmatrix} x \\ d \end{bmatrix}$$

اگر در نظر بگیریم:

$$z = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{d} \end{bmatrix}, A_D = \begin{bmatrix} A & E \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, B_D = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix}, C_D = [C \quad 0] \quad (۶-۴)$$

آنگاه (۵-۴) می شود:

$$\dot{z} = A_D z + B_D u \quad (۷-۴)$$

$$y = C_D z$$

یک رؤیتگر مرتبه ی کامل به صورت زیر قابل ساخت است.

$$\dot{\hat{z}} = (A_D - L_D C_D)\hat{z} + L_D y + B_D u \quad (۸-۴)$$

که  $L_D$  بهره ی رؤیتگر می باشد. با طراحی مناسب بهره ی  $L_D$ ، (۸-۴) قادر خواهد بود حالت  $x$  و اغتشاش  $d$  از سیستم اصلی در (۴-۴) را تخمین بزند.

حال یک سیستم با مدل اغتشاش  $\dot{d} = Md$  که در آن ماتریس  $M$  با بعد مناسب دینامیک های اغتشاش را توصیف می کند در نظر بگیرید.

$$\dot{x} = Ax + Bu + Ed \quad (۹-۴)$$

$$\dot{d} = Md$$

$$y = Cx$$

به طور مشابه سیستم فوق به صورت بهبود یافته ی زیر قابل بیان است:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & E \\ 0 & M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (۱۰-۴)$$

$$y = [C \quad 0] \begin{bmatrix} x \\ d \end{bmatrix}$$

اگر در نظر بگیریم:

$$z = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{d} \end{bmatrix}, A_{DM} = \begin{bmatrix} A & E \\ 0 & M \end{bmatrix}, B_D = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix}, C_D [C \quad 0] \quad (۱۱-۴)$$

آنگاه (۱۰-۴) می شوند:

$$\dot{z} = A_{DM}z + B_D u \quad (۱۲-۴)$$

$$y = C_D z$$

یک رؤیتگر مرتبه ی کامل به صورت زیر قابل ساخت است.

$$\dot{\hat{z}} = (A_{DM} - L_{DM}C_D)\hat{z} + L_{DM}y + B_D u \quad (۱۳-۴)$$

که  $L_{DM}$  بهره ی رؤیتگر است. با طراحی مناسب  $L_{DM}$ ، (۱۳-۴) می تواند حالت  $x$  و اغتشاش  $d$  از سیستم اصلی (۹-۴) را تخمین بزند [۱۰].

### ۴-۱-۳ رؤیتگر ورودی نامعلوم

رؤیتگر ورودی نامعلوم یا هر روش تولید باقیمانده ی مبتنی بر مجزا سازی اغتشاش مستلزم این است که ماتریس توزیع ورودی نامعلوم شناخته شده باشد. نیازی نیست که ورودی نامعلوم واقعی شناخته شده باشد [۹].

حال به طراحی رؤیتگرهای ورودی نامعلوم برای سیستم های دینامیکی خطی تغییرناپذیر با زمان با یک عامل اغتشاش نامعلوم افزوده می پردازیم. از دیدگاه محاسباتی، این سیستم ها با مدل زیر توصیف می شوند:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Ed(t) \quad (۱۴-۴)$$

$$y(t) = Cx(t)$$

که  $x(t) \in R^n$  بردار حالت،  $y(t) \in R^m$  بردار خروجی،  $u(t) \in R^r$  بردار ورودی معلوم و  $d(t) \in R^q$  تابع اسکالر نامعلوم است که اغتشاش را معرفی می کند.  $A$ ،  $B$ ،  $C$  و  $E$  ماتریس هایی معلوم با ابعاد مناسب هستند. رؤیتگر ورودی نامعلوم از مرتبه ی کامل به فرم ریاضیاتی زیر است:

$$\dot{z}(t) = Fz(t) + TBu(t) + Ky(t) \quad (۱۵-۴)$$

$$\hat{x} = z(t) + Hy(t)$$



که  $z(t) \in R^n$  حالت رؤیتگر ورودی نامعلوم،  $\hat{x}(t)$  بردار تخمین زده شده ی حالت  $x(t)$  است، در حالیکه  $H$  ،  $T$  ،  $F$  و  $K$  طوری طراحی خواهند شد که اغتشاشات را از خطای تخمین حالت  $e(t) = x(t) - \hat{x}(t)$  مجزا کنند.

خطای تخمین تخمین حالت اعمال شده به دست آمده بوسیله ی رؤیتگر ورودی نامعلوم (۴-۱۵) که به سیستم با معادله ی (۴-۱۴) اعمال شده، به وسیله ی معادلات زیر شرح داده می شود:

$$e_x(t) = x(t) - \hat{x}(t) = x(t) - z(t) - Hy(t) = \quad (۴-۱۶)$$

$$x(t) - z(t) - HCx(t) = (I - HC)x(t) - z(t)$$

و

$$\dot{e}_x(t) = [A - HCA - K_1C]e_x(t) + [F - (A - HCA - K_1C)]z(t) + \quad (۴-۱۷)$$

$$[K_2 - (A - HCA - K_1C)H]y(t) + [T - (I - HC)]Bu(t) + (HC - I)Ed(t)$$

به طوریکه:

$$K = K_1 + K_2 \quad (۴-۱۸)$$

**تعریف (۴.۱)** یک رؤیتگر بعنوان یک رؤیتگر ورودی نامعلوم برای سیستم توصیف شده با روابط (۴-۱۴) تعریف می شود اگر بردار خطای تخمین حالت آن، صرف نظر از حضور عامل ورودی نامعلوم در سیستم، به صورت مجانبی به صفر نزدیک شود.

اگر شرایط زیر برقرار شوند:

$$(HC - I)E = 0 \quad (۴-۱۹)$$

$$I - HC = T \quad (۲۰-۴)$$

$$A - HCA - K_1 C = F \quad (۲۱-۴)$$

$$FH = K_2 \quad (۲۲-۴)$$

آنگاه خطای تخمین حالت خواهد بود:

$$e_x(t+1) = Fe_x(t) \quad (۲۳-۴)$$

این یعنی اگر همه ی مقادیر ویژه ی ماتریس  $F$  پایدار باشند  $e_x(t)$  به طور مجانبی به صفر میل می کند، یعنی  $x \rightarrow \hat{x}$ . از این رو بر طبق تعریف (۱.۴)، رؤیتگر توصیف شده توسط معادلات (۱۵-۴) یک رؤیتگر ورودی نامعلوم برای سیستم (۱۴-۴) خواهد بود [۹].

قضیه (۱.۴) شرایط لازم و کافی برای اینکه یک رؤیتگر ورودی نامعلوم (۱۵-۴) ، برای سیستم تعریف شده بوسیله ی معادله (۱۴-۴) وجود داشته باشد از این قرار است [۳]:

$$rank(CE) = rank(E) \quad ۱.$$

$$A_1 = A - E[(CE)^T CE]^{-1}(CE)^T CA \quad ۲.$$

یک جفت قابل آشکار سازی باشد به طوریکه:

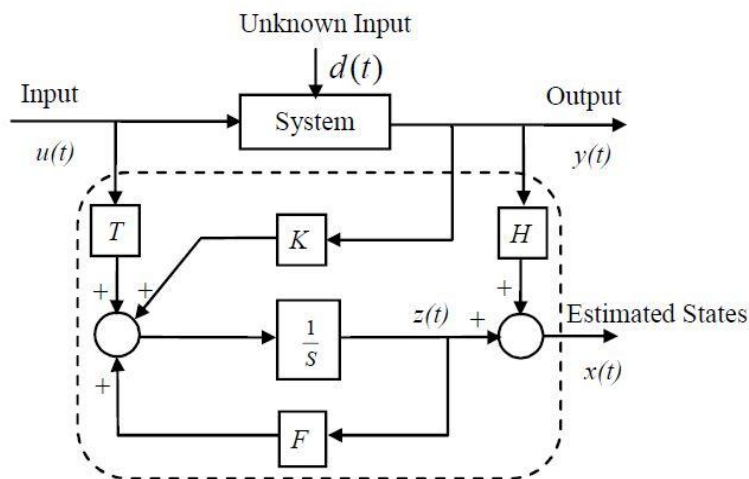
شایان ذکر است که تعداد سطرهای مستقل ماتریس  $C$  نباید کمتر از تعداد ستون های مستقل ماتریس  $E$  باشد تا شرط اول در قضیه (۱.۴) برآورده شود. این یعنی بیشینه تعداد اغتشاشات که قابل مجزا شدن هستند نمی تواند بزرگتر از تعداد اندازه گیری های مستقل باشد. بعلاوه ، بدون حضور ورودی های نامعلوم در سیستم با تنظیم  $T = I$  ،  $H = 0$  و  $E = 0$  ، رؤیتگر (۱۵-۴) به یک رؤیتگر لبرگر ساده تبدیل خواهد شد. در این وضعیت، شرط اول در قضیه (۱.۴) به وضوح برآورده می شود و شرط دوم در رابطه با

قابل آشکارسازی بودن جفت  $(A, C)$  خواهد بود [۱۰]. رؤیتگر تشریح شده در شکل (۱-۴) نشان داده شده است.

قابل مشاهده است که  $K_1$  (که می تواند ماتریس  $F$  را یک ماتریس پایدار کند) یک ماتریس آزاد پارامتری در طراحی یک رؤیتگر ورودی نامعلوم است. بعد از اینکه  $K_1$  محاسبه شد، به منظور پایدار سازی ماتریس دینامیک های سیستم  $F$ ، ماتریس های پارامتری دیگری در رؤیتگر ورودی نامعلوم با رابطه ی  $K = K_1 + K_2$  و شرایط (۱۹-۴)، (۲۰۳-۴)، (۲۱-۴) و (۲۲-۴) قابل محاسبه هستند [۹].

تحت این فرضیات اگر جفت  $(A_1, C)$  رؤیت پذیر باشد، به منظور پایدار سازی ماتریس  $F = A_1 - K_1 C$  روش های قراردادی معمول<sup>۱</sup> قابل استفاده هستند. اگر جفت  $(A_1, C)$  رؤیت پذیر نباشند، یک ماتریس انتقال  $P$  برای تجزیه ی کانونیکی رؤیت پذیر سیستم ساخته می شود به طوریکه:

$$PA_1P^{-1} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 \\ A_{12} & A_{22} \end{bmatrix}, \quad CP^{-1} = [C^* \quad 0] \quad (۲۴-۴)$$



شکل (۱-۴) ساختار یک رؤیتگر ورودی نامعلوم از مرتبه ی کامل [۳]

<sup>۱</sup> مانند روش مکان یابی ریشه -

که مقادیر ویژه ی  $A_{22}$  مدهای رؤیت ناپذیر می باشند. اگر  $(A_1, C)$  قابل آشکار سازی باشد، ماتریس  $F$  قابل پایدارسازی خواهد بود.

یک فلوجارت که روند طراحی رؤیتگر ورودی نامعلوم را توصیف می کند در شکل (۳-۴) آمده است.

#### ۴-۱-۴ رؤیتگر انتگرالی نسبی

یک رؤیتگر انتگرالی نسبی برای سیستم (۴-۴) به صورت زیر تعریف می شود:

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + K_p(y - C\hat{x}) + Bu + E\hat{x} \quad (۲۵-۴)$$

$$\dot{\hat{d}} = K_I(y - C\hat{x})$$

که  $K_p$  و  $K_I$  به ترتیب بهره های نسبی و انتگرالی هستند. اگر  $K_I$  صفر باشد، رؤیتگر انتگرالی نسبی به یک رؤیتگر مرتبه کامل قراردادی کاهش می یابد. روابط (۲۵-۴) را می توان به فرم بهبود یافته ی (۲۶-۴) نوشت.

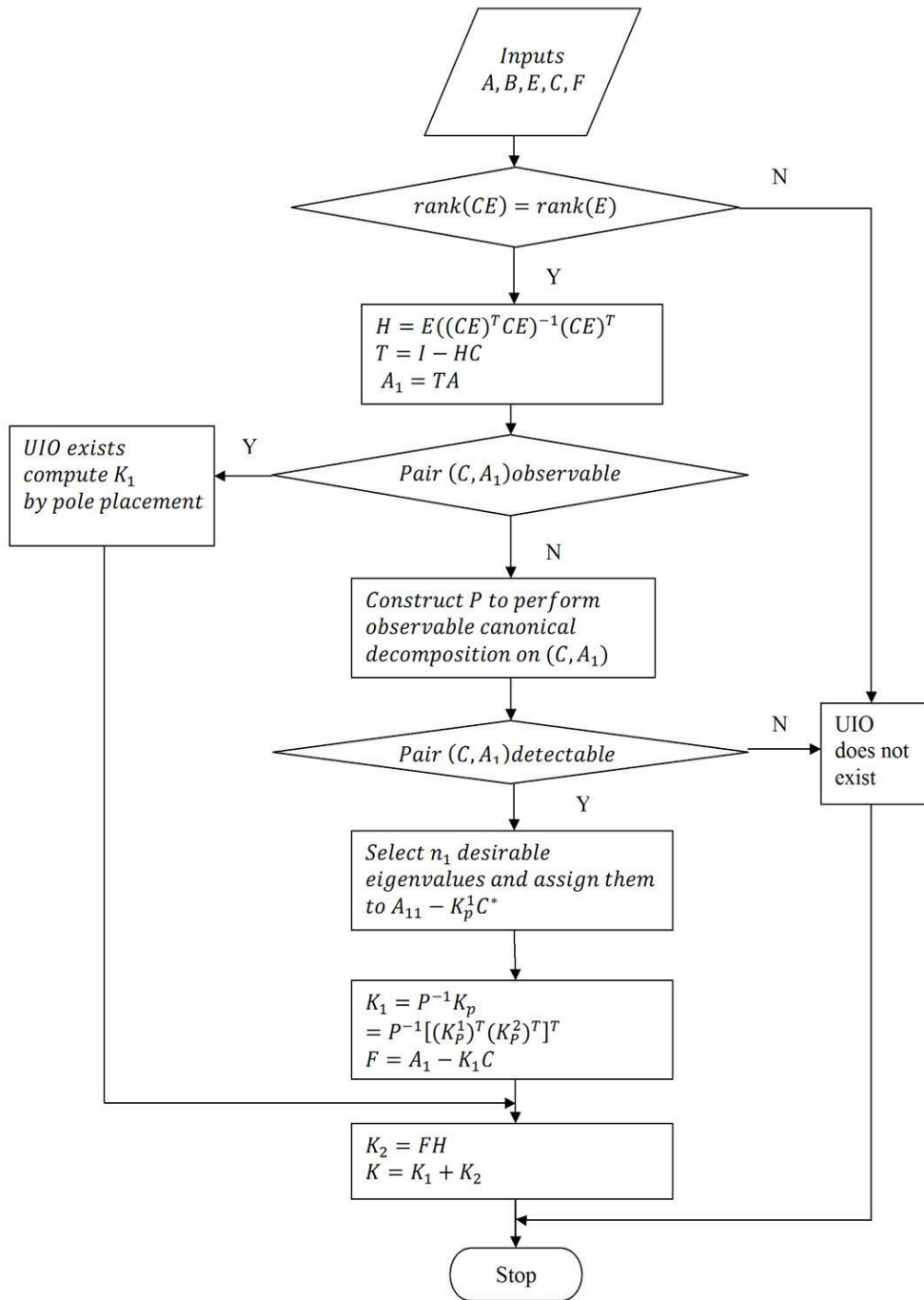
$$\dot{\hat{z}} = A_Z\hat{z} + B_Zu + K_Zy \quad (۲۶-۴)$$

به طوریکه:

$$\hat{z} = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{d} \end{bmatrix}, A_Z = \begin{bmatrix} A - K_pC & E \\ -K_I C & 0 \end{bmatrix}, B_Z = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix}, K_Z = \begin{bmatrix} K_p \\ K_I \end{bmatrix} \quad (۲۷-۴)$$

در فرم بهبود یافته ی بالا، هر روش تعیین مقدار ویژه برای حصول بهره ی  $K_Z$  از رابطه ی  $A_Z = A_X - K_Z C_Z$  با پایدار سازی تمامی مقادیر ویژه ماتریس  $A_Z$  قابل اعمال است، درحالیکه:

$$A_X = \begin{bmatrix} A & E \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, C_Z = [C \quad 0] \quad (۲۸-۴)$$



شکل (۲-۴) فلوجارت رؤیتگر ورودی نامعلوم [۳]

وقتی که رُویتگر توصیف شده در (۲۵-۴) به سیستم توصیف شده در (۴-۴) اعمال می شود، خطای تخمین حالت حالت  $(e = x - \hat{x})$  و خطای تخمین اغتشاش  $(\varepsilon = d - \hat{d})$  با فرض اینکه اغتشاش ثابت است  $(\dot{d} = 0)$  به این صورت خواهد بود:

$$\begin{bmatrix} \dot{e} \\ \dot{\varepsilon} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A - K_p C & E \\ -K_I C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e \\ \varepsilon \end{bmatrix} \quad (۲۹-۴)$$

فرض کنید که

$$\xi = \begin{bmatrix} e \\ \varepsilon \end{bmatrix} \quad (۳۰-۴)$$

می توان (۳۰-۴) را به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\dot{\xi} = A_z \xi \quad (۳۱-۴)$$

اگر همه ی مقادیر ویژه ی  $A_z$  پایدار باشند،  $e$  به صورت مجانبی به صفر خواهد گرایید  $(\hat{x} \rightarrow x)$ . این یعنی رُویتگر (۲۸-۴) یک رُویتگر برای سیستم (۴-۴) خواهد بود [۲۵].

## ۲-۴ مقایسه ی ساختارهای رُویتگرهای مختلف

روابط جالبی بین ساختارهای رُویتگرهای ذکر شده وجود دارد. رُویتگر اغتشاش ذاتاً یک رُویتگر حالت-تمام لنبرگر است که برای سیستم بهبود یافته، سیستم اصلی به همراه مدل اغتشاش ، طراحی می شود.

هم چنین رُویتگر انتگرالی نسبی با رُویتگر اغتشاش رابطه ای مستقیم دارند. رُویتگر اغتشاش (۱۰-۴) با رابطه ی زیر معادل است:

$$\begin{bmatrix} \dot{\hat{x}} \\ \dot{\hat{d}} \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} A & E \\ 0 & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C & 0 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{d} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \end{bmatrix} y + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (۳۲-۴)$$

به طوریکه

$$L_D = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \end{bmatrix} \quad (۳۳-۴)$$

با استفاده از (۲۹-۴) و (۳۰-۴) رؤیتگر انتگرالی نسبی به صورت زیر قابل بازنویسی است:

$$\begin{bmatrix} \dot{\hat{x}} \\ \dot{\hat{d}} \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} A & E \\ 0 & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K_P \\ K_I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C & 0 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{d} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_P \\ K_I \end{bmatrix} y + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (۳۴-۴)$$

آشکار است که رؤیتگر اغتشاش و رؤیتگر انتگرالی نسبی با اغتشاش ثابت ( $\dot{d} = 0$ ) با یکدیگر مشابه اند و بهره های دو رؤیتگر مرتبطند:

$$L_1 = K_P \quad (۳۵-۴)$$

$$L_2 = K_I \quad (۳۶-۴)$$

برای ساختن یک رؤیتگر اغتشاش معمولاً یک مدل از اغتشاش فرض و به داخل مدل سیستم آمیخته می شود تا یک سیستم بهبود یافته به دست آید. آنگاه رؤیتگر اغتشاش با ساخت رؤیتگر برای آن سیستم بهبود یافته به دست می آید، درحالیکه ساختار رؤیتگر انتگرالی نسبی از پیش تعریف شده است و تخمین های حالت بهبود یافته به طور مستقیم به دست می آیند. می توان نشان داد که رؤیتگر اغتشاش یک نوع خاص از رؤیتگر انتگرالی نسبی است و بهره های متناسب با آنها می توانند مرتبط باشند [۱۰].





## فصل ۵- تشخیص خطای مقاوم مبتنی بر رؤیتگر ورودی نامعلوم بهینه



## ۵-۱ تشخیص و جداسازی خطای مقاوم ۱ سنسور

مسأله کلیدی در تشخیص خطای مبتنی بر رؤیتگر، تولید و ارزیابی یک مجموعه از باقیمانده هاست که نه تنها تشخیص خطا بلکه یک تمایز بین خطاهای مختلف به صورت ورودی نامعلوم را میسر می سازد. به طور کلی این هدف به وسیله یک "بانک" از رؤیتگرها قابل حصول است که در آن هر رؤیتگر نسبت به خطا یا گروهی از خطاها حساس است، درحالیکه به اغتشاشات (ورودی های نامعلوم) غیر حساس می باشد.

شکل (۵-۱) یک شمای تشخیص و جداسازی خطای سنسور را نشان می دهد که شامل یک رؤیتگر ورودی نامعلوم کلی<sup>۲</sup> نیز می شود. این رؤیتگر باقیمانده هایی را تولید می کند که برای تشخیص خطا در سنسور ها استفاده می شود.

با در نظر گرفتن اینکه محرک ها عاری از خطا هستند، سیستم در معرض خطای سنسور به این صورت قابل بیان است:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Ed(t) \quad (۵-۱)$$

$$y(t) = Cx(t) + f_s$$

که  $f_s \in R^m$  یک بردار غیر قابل اندازه گیری است که به عنوان بایاس افزوده ناشی شده از خطاهای سنسور در نظر گرفته می شود. آنگاه خواهیم داشت:

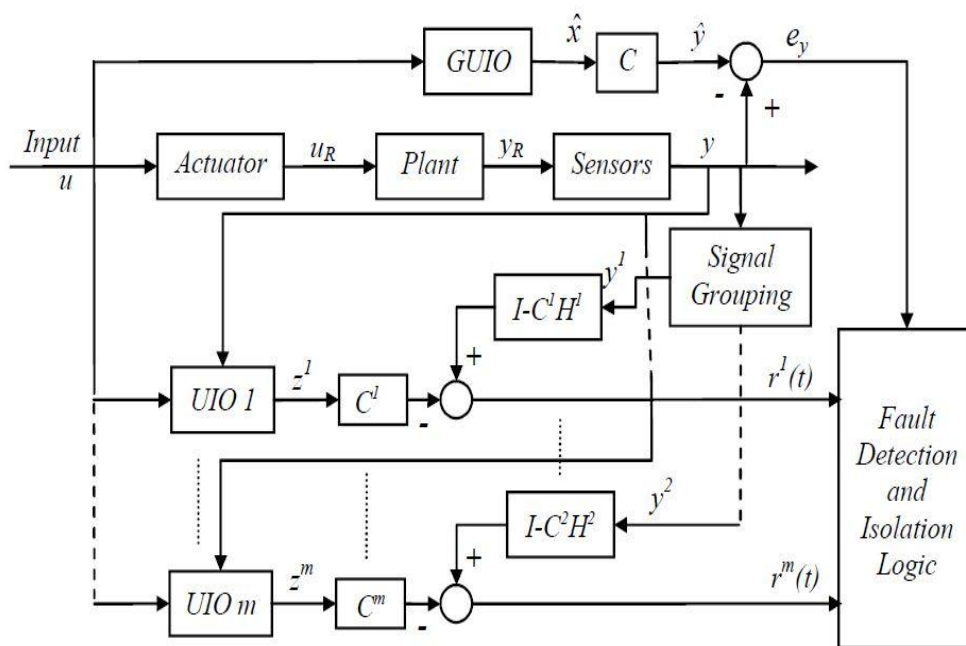
$$y^j = C^j x + f_s^j \quad (۵-۲)$$

$$y_j = C_j x + f_{sj}$$

---

<sup>1</sup> -Robust Fault Detection and Isolation (RFDI)

<sup>2</sup> General Unknown Input Observer (GUIO)



شکل (۵-۱) یک شمای تشخیص و جداسازی خطای مقاوم [۳]

که  $C_j \in R^{1 \times n}$ ،  $j$ -امین سطر از ماتریس  $C$ ،  $C^j \in R^{(m-1) \times n}$  ماتریس به دست آمده از  $C$  با پاک کردن  $j$ -امین سطر  $(C_j)$ ،  $y_j$ ،  $j$ -امین جزء  $y$  و  $y^j \in R^{m-1}$  بردار به دست آمده از بردار  $y$  با پاک کردن  $j$ -امین جزء  $(y_j)$  می باشد.  $m$  آنگاه تولید کننده ی باقیمانده مبتنی بر رؤیتگر ورودی نامعلوم به این صورت ساخته می شوند [۳]:

$$\dot{z}^j(t) = F^j z^j(t) + T^j B u(t) + K^j y^j(t) \quad (۳-۵)$$

$$r^j = (I - C^j H^j) y^j + C^j z^j \quad (۴-۵)$$

در شمای رؤیتگر تعمیم یافته، برای طراحی رؤیتگرهای ورودی نامعلوم، شرایط زیر باید برآورده شوند:

$$H^j C^j E = E \quad (۵-۵)$$

$$T^j = I - H^j C^j \quad (۶-۵)$$

$$F^j = T^j A - K_1^j C^j \quad \text{must be Hurwitz} \quad (7-5)$$

$$K_2^j = F^j H^j \quad (8-5)$$

$$K^j = K_1^j + K_2^j \quad (9-5)$$

- تولید باقیمانده: تولید باقیمانده مسأله ی اصلی یک سیستم تشخیص خطای مبتنی بر رؤیتگر است. باقیمانده ها با استفاده از تفاوت بین خروجی واقعی و تخمین زده شده ی سیستم تولید می شوند. این تفاوت غالباً با استفاده از نرم بردار خطای تخمین خروجی محاسبه می شود.

روش رؤیتگر ورودی نامعلوم از اصل مجزا سازی اغتشاش برای تشخیص خطا استفاده می کند. همچنین برای هدف جداسازی خطا فرض می شود که تأثیر یک خطا از تأثیر دیگر خطاها مجزا شده است.

یک سیگنال باقیمانده که به خوبی طراحی شده، طوری تعریف می شود که در مورد بدون خطا صفر و یا نزدیک به صفر و برای سیستم در معرض خطا مخالف صفر باشد [۲۶].

$$r(t) = 0 \quad (\text{یا } r(t) \approx 0) \quad \text{Fault free case} \quad (10-5)$$

$$r(t) \neq 0 \quad \text{Faulty case} \quad (11-5)$$

- ارزیابی باقیمانده: یک باقیمانده برای بررسی احتمال وجود خطا ارزیابی می شود. آنگاه یک فرآیند تصمیم گیری منطقی با هدف تعیین اینکه آیا خطایی اتفاق افتاده است یا نه و اجتناب از تصمیمات غلط مثل هشدار اشتباهی یا چشم پوشی از خطاها اعمال می گردد. تصمیم نهایی بعد از یک مقایسه-ی ساده بین یک آستانه و تابع ارزیابی باقیمانده گرفته می شود [۲۶].

هر تولید کننده ی باقیمانده به وسیله ی همه ی ورودی ها و همه ی خروجی ها به جز یک خروجی راه اندازی می شود. وقتی که همه ی محرک ها عاری از خطا باشند و یک خطا در  $j$ -امین سنسور رخ دهد، باقیمانده منطق جداسازی زیر را برآورده خواهد کرد [۳]:

$$\|r^j\| < T_{SFI}^j \quad (۱۲-۵)$$

$$\|r^k\| \geq T_{SFI}^k \quad for \quad k = 1, 2, \dots, j-1, j+1, \dots, m \quad (۱۳-۵)$$

که  $T_{SFI}^j$  ها آستانه های جداسازی و  $\|r^j\|$  ها نرم های باقیمانده ها می باشند.

تصمیم با یک متغیر باینری نشان داده می شود. اگر مقدار تابع ارزیابی باقیمانده از آستانه تجاوز کرده باشد، این متغیر باینری 1 و در غیر این صورت 0 خواهد بود.

مشاهده می شود که روند تشخیص خطا مبتنی بر رؤیتگر ورودی نامعلوم به طور خلاصه شامل تخمین حالت، تولید باقیمانده های مجزا شده از اغتشاش و سپس ارزیابی باقیمانده ها می شود. تشخیص خطای موفق به قابل اطمینان و مقاوم بودن باقیمانده ها بستگی دارد. بنابراین طراحی پارامترهای رؤیتگر به طوریکه حداکثر میزان مقاوم بودن و اطمینان پذیری را تضمین کنند بسیار پر اهمیت و مشکل است. ما با این مشکل به صورت یک مسأله ی بهینه سازی برخورد می کنیم و برای حل این مسأله الگوریتم بهینه سازی پرندگان را به کار می بندیم. پس از مروری کلی بر الگوریتم های بهینه سازی هوشمند، معرفی الگوریتم بهینه سازی پرندگان و خلاصه ای از مزایای آن، نحوه ی پیاده سازی این الگوریتم بر تشخیص خطای سنسور مبتنی بر رؤیتگر ورودی نامعلوم را توضیح خواهیم داد.

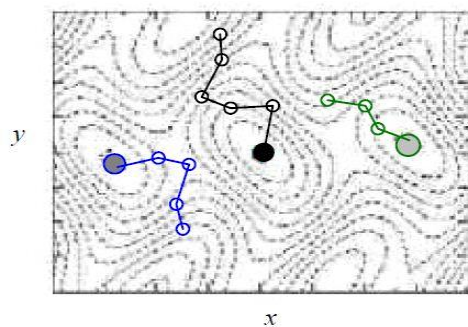
## ۵-۲ معرفی الگوریتم بهینه سازی پرندگان

### ۵-۲-۱ امروری بر بهینه سازی هوشمند با استفاده از جست و جوی تصادفی

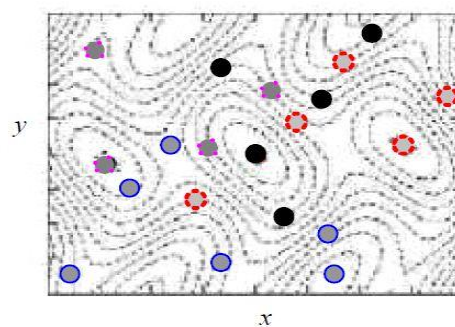
در اینجا بهینه سازی هوشمند به دسته ی وسیعی از الگوریتم های بهینه سازی تصادفی مبتنی بر جمعیت اطلاق می شود، مانند الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه سازی پرندگان و غیره. اگر مسأله ی بهینه سازی پیچیده، تصادفی، غیرخطی از درجه ی بالا با بهینه ی محلی چندگانه باشد، الگوریتم های بهینه-سازی هوشمند در مقایسه با روش های بهینه سازی کلاسیک پرمزیت محسوب می شوند. مزایای بهینه-سازی هوشمند به توازی ذاتیشان، قابلیت حل کردن مسائل عظیم و پیچیده، کمترین نیاز به دانشی خاص در حیطه ی کار و غیره باز می گردد. جزئیات این مزایا در زیر بحث می شوند.

در ابتدا این الگوریتم های هوشمند به طور ذاتی موازی هستند. بیشتر الگوریتم های کلاسیک سری هستند و تنها می توانند فضای جست و جو را در یک جهت در طی یک زمان جست و جو کنند. این اختلاف بین الگوریتم های کلاسیک و الگوریتم های هوشمند در شکل (۵-۲) نشان داده شده است. از روی شکل قابل مشاهده است که اگر مشخص شود راه حل پیدا شده نیمه بهینه است، کاری نمی توان کرد به جز اینکه جست و جوی فعلی را کنار گذاشت و دوباره شروع کرد. در عوض الگوریتم های بهینه-سازی هوشمند می توانند فضای راه حل را به طور همزمان در جهات چندگانه تفحص کنند. اگر یک مسیر کار نکرد، آنها می توانند به آسانی آن را حذف کرده و بر روی مسیر های مطمئن تر به کار ادامه دهند. این یک فرصت بسیار بهتر برای یافتن پاسخ بهینه را فراهم می کند .

در نتیجه ی توازی، الگوریتم های بهینه سازی هوشمند به طور خاص برای مسائل عظیم با فضای پاسخ بسیار وسیع که جست و جو در آن به طور جامع در طی یک زمان معقول مد نظر است، مناسب می باشد.



Classic search



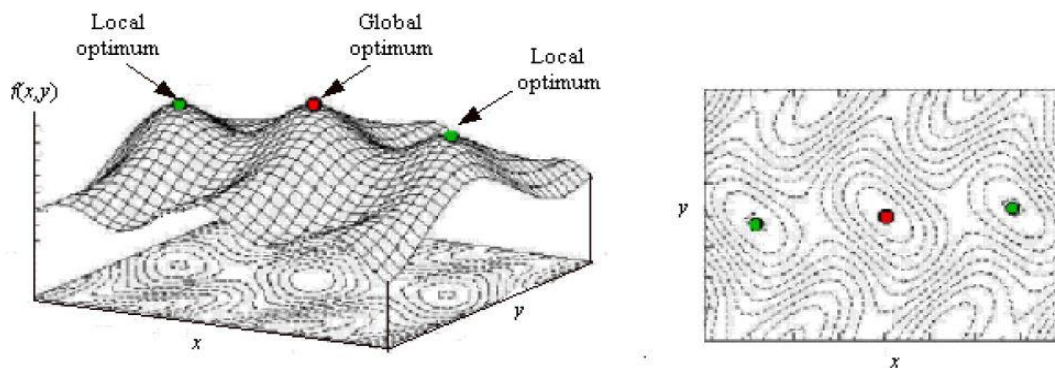
Intelligent search

شکل (۵-۲) مقایسه ی الگوریتم های بهینه سازی کلاسیک و هوشمند در فضای جست و جوی جواب [۱۷]

توازی ذاتی الگوریتم های بهینه سازی هوشمند به آنها اجازه می دهد تا نتایج بهینه یا بسیار خوب را در یک زمان کوتاه پس از تفحص یک ناحیه ی کوچک از فضای جست و جو بیابند.

مزیت دیگر الگوریتم های بهینه سازی هوشمند این است که آنها برای مسائل پیچیده با بهینه های محلی چندگانه درست عمل می کنند. شکل (۵-۳) وجود بهینه ی محلی را در یک فضای جست و جوی محلی نشان می دهد. بیشتر مسائل عملی بسیار پیچیده تر از این مثال هستند و ممکن است دارای فضای جست و جوی بسیار وسیع باشند که تفحص در آن به طور جامع غیر ممکن باشد. بسیاری از الگوریتم های بهینه سازی کلاسیک ممکن است در دام بهینه ی محلی بیفتند. ثابت شده است که الگوریتم های بهینه-سازی هوشمند در فرار از بهینه ی محلی و پیدا کردن بهینه ی سراسری در فضاهای جست و جوی پیچیده مؤثر هستند. باید به این نکته نیز توجه کرد که بعضی اوقات نمی توان گفت که آیا یک پاسخ، بهینه ی سراسری است و یا فقط یک بهینه ی محلی خوب. اگرچه، حتی وقتی یک الگوریتم بهینه سازی هوشمند نتواند بهینه ی سراسری را پیدا کند، می تواند یک بهینه ی محلی خوب را بیابد.





شکل (۵-۳) وجود بهینه ی محلی چندگانه [۱۷]

آخرین مزیت لازم به ذکر این است که این الگوریتم های بهینه سازی هوشمند برخلاف سایر الگوریتم- های بهینه سازی به اطلاعات مفصل بخصوص در حیطه ی کار نیاز ندارند. این مزیت آنها مثلا در کاربردشان در مسأله ی تشخیص خطا در اینجا بسیار مهم است. به جای استفاده از اطلاعات خاص در حیطه ی کار برای هدایت جست و جو، الگوریتم ها تغییراتی تصادفی در پاسخ های کاندیدشان ایجاد می کنند و با استفاده از یک تابع هزینه ی غالباً چند ارزشی تعیین می کنند که کدام پاسخ ها خوب یا بد هستند [۱۷].

به عنوان یک توسعه ی جدید از الگوریتم های بهینه سازی هوشمند، بهینه سازی پرندگان مفهومی ساده دارد و از نظر محاسباتی تا حد بالایی کارآمد است. این پایان نامه کاربرد الگوریتم بهینه سازی پرندگان در امر تشخیص خطا را بررسی می کند. جزئیات مربوط به این الگوریتم در ادامه آورده می شود.

## ۵-۲-۲ الگوریتم بهینه سازی پرندگان

الگوریتم بهینه سازی پرندگان یک الگوریتم جست و جوی تصادفی مبتنی بر جمعیت است که در ابتدا توسط کندی و ابرهارت<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۵ ارائه شد [۲۷] و از آن هنگام برای حل دامنه ی وسیعی از مسائل

<sup>1</sup>-Kennedy and Eberhart

بهینه سازی استفاده شده است. این الگوریتم به عنوان فعالیت های اجتماعی شبیه سازی شده ی حیواناتی مانند پرندگان و حشرات ارائه شد و تلاش می کند که فرآیند طبیعی ارتباطات گروهی برای شریک شدن در دانش فردی به هنگام پرواز دسته جمعی، شکار و یا مهاجرت این گروه ها را تقلید کند. اگر یک عضو یک راه مطلوب برای رفتن ببیند، بقیه ی گروه به سرعت آن را دنبال می کنند. در الگوریتم بهینه سازی پرندگان، این رفتار حیوانات بوسیله ی اجزایی با موقعیت ها و سرعت های معین در یک فضای جست و جو تقلید می شود که در آن جمعیت انبوه ذرات<sup>۱</sup> و هر عضو انبوه ذرات، یک ذره<sup>۲</sup> نامیده می شود. با آغاز با جمعیتی با مقدار اولیه ی تصادفی، هر ذره درون فضای جست و جو پرواز می کند و بهترین موقعیتی را که دیده به خاطر می سپارد. اعضای انبوه ذرات موقعیت های خوب را با یکدیگر رد و بدل می کنند و موقعیت و سرعت خودشان را به طور پویا بر اساس این موقعیت های خوب تنظیم می کنند. تنظیم سرعت مبتنی بر پیشینه ی رفتاری خود ذرات و نیز همراهانشان است. به این طریق ذرات تمایل دارند که به سمت مناطق جست و جوی بهتر در طی فرآیند جست و جو پرواز کنند [۲۷].

فرآیند جست و جو مبتنی بر این مفهوم به صورت روابط (۱۴-۵) و (۱۵-۵) قابل توصیف است.

$$v_i^{k+1} = wv_i^k + c_1 rand_1 \times (pbest_i - x_i^k) + c_2 rand_2 \times (gbest - x_i^k) \quad (14-5)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (15-5)$$

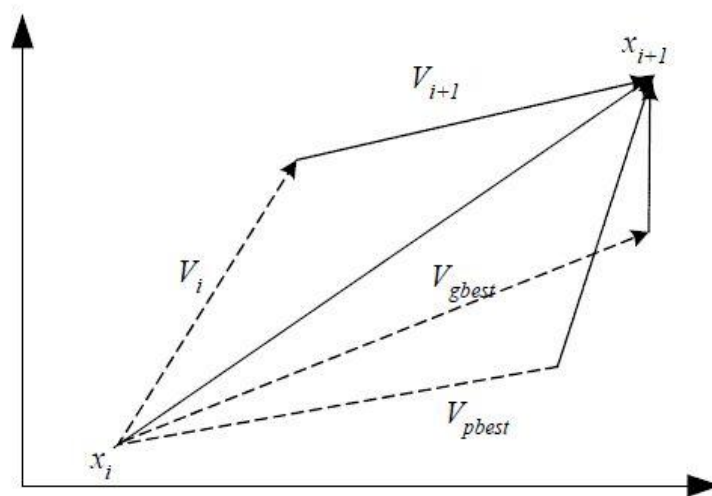
در روابط بالا  $c_1$  و  $c_2$  ثابت های مثبتی هستند که به عنوان ضرایب شتاب معرفی می شوند؛  $w$  فاکتور وزن داخلی؛  $rand_1$  و  $rand_2$  دو تابع تصادفی در محدوده ی  $[0,1]$ ؛  $x_i$  جزء  $i$  ام و  $pbest_i$  بهترین موقعیت قبلی  $x_i$ ؛  $gbest$  بهترین ذره در بین تمام جمعیت و  $v_i$  نرخ تغییرات موقعیت (سرعت) برای ذره  $x_i$  می باشد. تغییرات سرعت در (۱۴-۵) شامل سه بخش می شود؛ بخش تکانه، بخش شناختی و بخش

---

<sup>1</sup>-swarm  
<sup>2</sup>-particle

اجتماعی. این ترکیب، یک سرعت که به  $pbest$  و  $gbest$  نزدیکتر می شود را فراهم می کند. آنگاه موقعیت فعلی هر جزء بر طبق (۵-۱۵) تکامل می یابد که یک موقعیت بهتر را در فضای پاسخ تولید می کند.

شکل (۵-۴) یک تصویر مفهومی از این فرآیند جست و جو بر طبق روابط بالاست.



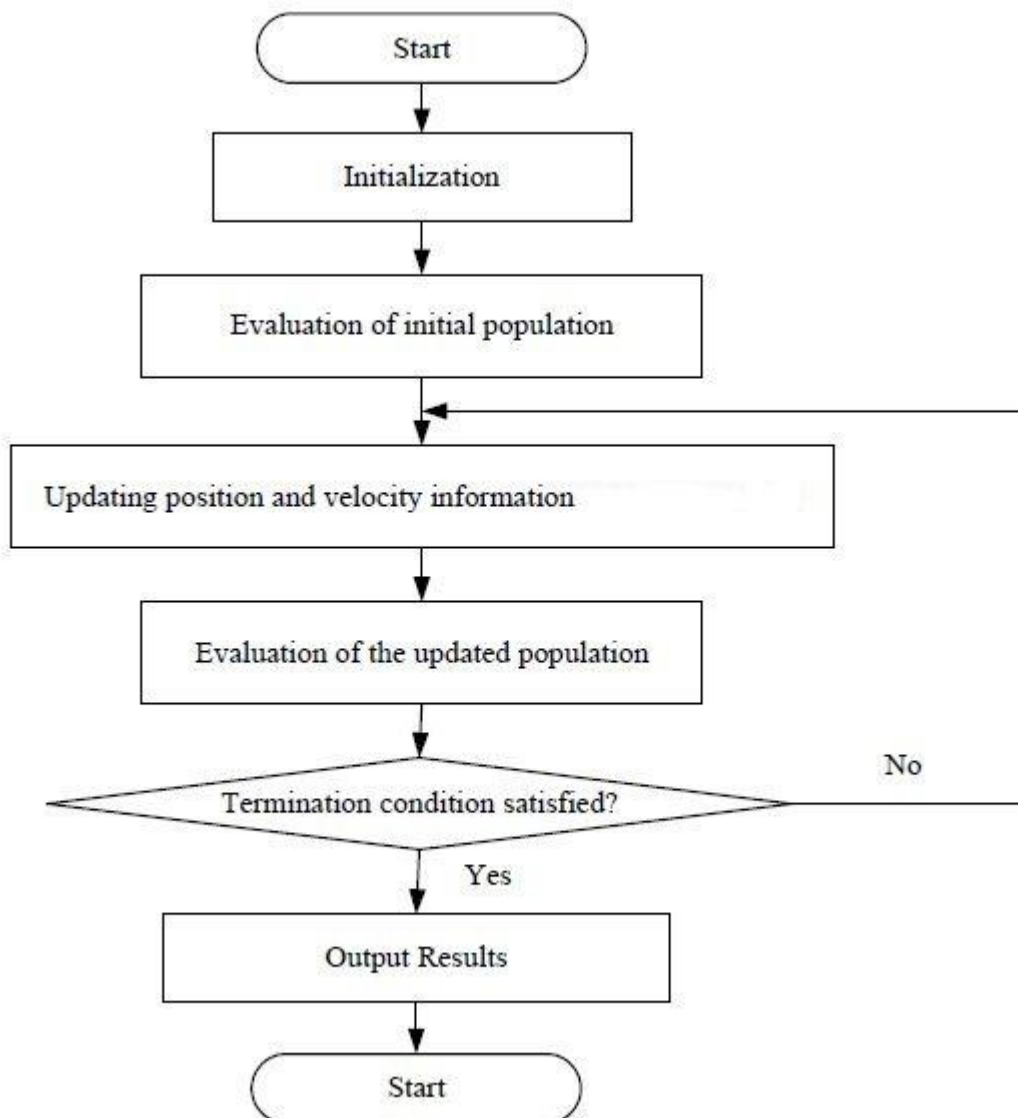
شکل (۵-۴) نمایش برداری عملیات بهینه سازی پرندگان در یک فضای دو بعدی [۱۷]

بر طبق روابط (۵-۱۴) و (۵-۱۵) چندین عامل بر عملکرد الگوریتم بهینه سازی پرندگان تأثیر می گذارند؛ عامل وزن داخلی  $w$  و دو ضریب شتاب  $c_1$  و  $c_2$ . از زمان معرفی این الگوریتم در سال ۱۹۹۵ کار قابل ملاحظه ای برای بهبود این الگوریتم با تغییر این سه عامل انجام گرفته است. استفاده از عامل وزن داخلی مختلف یا متغیر با زمان می تواند جست و جوی سراسری و محلی در طی فرآیند بهینه سازی را متعادل کند. ثابت های شتاب در این الگوریتم در خدمت اهداف دوگانه ای می باشند. اولاً آنها نفوذ نسبی به ترتیب بر روی  $gbest$  و  $pbest_i$  را کنترل می کنند. ثانیاً ترکیب دو ضریب شتاب عاملی را شکل می دهند که با اندازه ی جهش یک الگوریتم تطبیقی قابل قیاس است. ضرایب شتاب نزدیک تر به صفر جست و جوی دقیق تری از ناحیه را حاصل می کنند در حالیکه ضرایب نزدیک به یک منجر به تفحص

کمتر و همگرایی سریع تر می شوند. تنظیم کردن شتاب بزرگتر از یک به جزء اجازه می دهد که احتمالاً از  $gbest$  و  $pbest_i$  بگذرد که منجر به یک جست و جوی وسیع تر می گردد [۱۷]. بحث های بیشتر در مورد تنظیم پارامترهای مناسب در [۲۸] یافت می شود. فرآیند پیاده سازی الگوریتم بهینه سازی پرندگان به وسیله ی فلوجارت در شکل (۵-۵) قابل مشاهده است. بر طبق این شکل فرآیند بهینه سازی به شش مرحله به صورت زیر قابل تقسیم است:

- ۱- مقداردهی اولیه. در طی این مرحله مرزهای هر عنصر برای موقعیت و سرعت اجزا تنظیم می گردد و جمعیت به صورت تصادفی مقداردهی اولیه می شود. پارامترهای (۵-۱۴) و (۵-۱۵) و شرایط پایان یافتن الگوریتم از پیش تنظیم می شوند و  $pbest$  ها به عنوان این جمعیت اولیه معین می گردند.
- ۲- ارزیابی جمعیت اولیه. در این مرحله هزینه برای همه ی اجزا در جمعیت اولیه بر طبق یک تابع هزینه (یا هدف) ارزیابی می گردد. بهترین جزء گلوبال،  $gbest$ ، به عنوان ذره با بهترین هزینه انتخاب می شود.
- ۳- به روز رسانی موقعیت و سرعت. موقعیت و سرعت جزء به ترتیب بر طبق (۵-۱۴) و (۵-۱۵) به روز رسانی می شوند؛ بررسی شود که آیا سرعت و موقعیت به روز رسانی شده ی اجزا از حدود متناظرشان فراترند؛ اگر این اتفاق بیفتد عناصر فراتر از حد بر روی حدود متناظر تنظیم می شوند.
- ۴- ارزیابی جمعیت به روز رسانی شده. مشابه با مرحله ی ۲، موقعیت به روز رسانی شده ی اجزا بر طبق تابع هزینه شان ارزیابی می شوند؛ اجزای  $pbest$  و  $gbest$  در صورت لزوم به روز رسانی می شوند.
- ۵- بررسی شود که آیا شرایط پایان یافتن برآورده شده است. این کار بر طبق شرایط پایان یابی از پیش تنظیم شده، مثل به بیشینه رسیدن تعداد تکرارها، رضایت بخش بودن کیفیت بهترین پاسخ به دست آمده و غیره انجام می گیرد. اگر شرایط پایان یافتن برآورده نشود فرآیند به روز رسانی مرحله ی ۳ تکرار خواهد شد، در غیر این صورت فرآیند بهینه سازی پایان می یابد.

۶- نتایج خروجی. بهترین پاسخ به دست آمده در طی فرآیند بهینه سازی،  $gbest$ ، در این مرحله خروجی است.

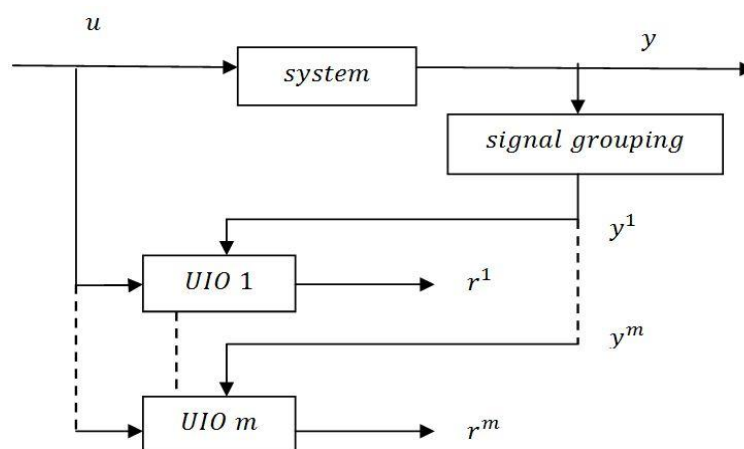


شکل (۵-۵) فلوچارت الگوریتم بهینه سازی پرندگان [۱۷]

از قوانین به روز رسانی و فلوچارت الگوریتم بهینه سازی پرندگان قابل ملاحظه است که این الگوریتم از لحاظ مفهومی ساده و تحقق آن آسان است، از این رو در سالهای اخیر محبوبیت زیادی را کسب کرده است.

### ۵-۳ طراحی رؤیتگر ورودی نا معلوم بر اساس الگوریتم بهینه سازی پرندگان

در شکل (۵-۶) بانک رؤیتگر های ورودی نامعلوم که در تشخیص خطای سنسور برای سیستمی در معرض اغتشاش استفاده می شوند، مشاهده می شود. مطلوب است پارامترهای رؤیتگر به گونه ای طراحی شوند که در هنگام عدم حضور خطای سنسور مقدار باقیمانده های  $r^1$  تا  $r^m$  صفر و یا بسیار نزدیک به صفر باشد. همان طور که در فصل قبل ذکر شد در طراحی رؤیتگر (۴-۱۹)، ماتریس های  $H$ ،  $T$ ،  $F$  و  $K$  به گونه ای طراحی می شوند که اغتشاشات را از خطای تخمین حالت مجزا کنند و برای آنکه خطای تخمین حالت به صورت مجانبی به صفر میل کند، باید همه ی مقادیر ویژه ی ماتریس  $F$  پایدار باشند.



شکل (۵-۶) بانک رؤیتگر های ورودی نامعلوم برای تولید باقیمانده [۹]

در اینجا با مسأله ی شناسایی ماتریس  $F$  به عنوان یک مسأله ی بهینه سازی برخورد می کنیم. ایده ی اساسی این است که خروجی اندازه گیری شده ی سیستم با خروجی تخمین زده شده توسط رؤیتگر مقایسه شوند. عدم تطابق بین این دو خروجی به وسیله ی بهینه سازی مبتنی بر یک تابع هزینه، کمینه می شوند. در مورد این مسأله می توانیم دینامیک های سیستم را به این صورت تعریف کنیم:

$$\dot{x} = f(x, u) \quad (۵-۱۶)$$

$$y = g(x) \quad (17-5)$$

اعضای ماتریس  $F$ ،  $p$ ، ناشناخته هستند که باید شناسایی شوند. برای شناسایی بردار پارامتری  $p$ ، یک مدل از سیستم به صورت زیر داریم:

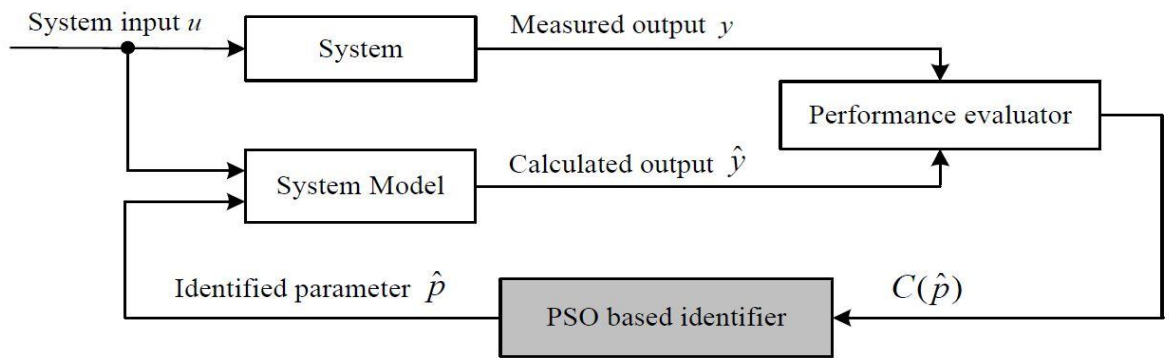
$$\dot{\hat{x}} = f(\hat{p}, \hat{x}, u) \quad (18-5)$$

$$\hat{y} = g(\hat{x}) \quad (19-5)$$

بردار پارامتری که باید شناسایی شود با  $\hat{p}$  نشان داده شده است. برای ارزیابی پارامترهایی که باید شناسایی شوند، خروجی سیستم  $y$  با خروجی مدل  $\hat{y}$  مقایسه می شوند. یک تابع هزینه به صورت تابع وزندار درجه دوم به صورت زیر قابل تعریف است [17]:

$$C(\hat{p}) = \int (y - \hat{y})^T W (y - \hat{y}) dt \quad (20-5)$$

که  $W$  یک ماتریس مثبت معین است. آشکار است که تابع هزینه یک تابع از بردار پارامتری تخمین زده شده  $\hat{p}$  است. خطای شناسایی منجر به یک  $C(\hat{p})$  غیر صفر می شود. از این رو تابع هزینه می تواند برای هدایت جست و جو برای یک تخمین بهتر استفاده شود. شکل (5-7) بلوک دیاگرام شناسایی پارامتر مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی پرندگان را نمایش می دهد [17].



شکل (۷-۵) بلوک دیاگرام شناسایی پارامتر مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی پرندگان [۱۷]

در کاربردهای خارج از خط<sup>۱</sup> (همانند کار ما) فرآیند شناسایی بعد از آنکه  $\hat{p}$  به طور موفقیت آمیز شناسایی شد متوقف می شود. در کاربردهای بر خط<sup>۲</sup> بعد از آنکه آنکه  $\hat{p}$  به طور موفقیت آمیز شناسایی شد و یا الگوریتم به بیشینه تعداد تکرار دست یافت،  $\hat{p}$  شناسایی شده برای به روز رسانی مدل سیستم استفاده می شود و سپس فرآیند بالا تکرار خواهد شد.

<sup>۱</sup> - Off-Line  
<sup>۲</sup> - On-Line



## فصل ۶- نتایج شبیه سازی



## ۱-۶ طراحی رؤیتگر های تشخیص خطا و مقایسه ای بر عملکردشان

در این بخش سه رؤیتگر تشخیص خطای مقاوم؛ رؤیتگر اغتشاش، رؤیتگر ورودی نامعلوم و رؤیتگر انتگرالی نسبی را برای زیر سیستم راندن از زیردریایی بدون سرنشین طراحی کرده و آنگاه عملکردشان در امر تولید باقیمانده های مقاوم در حضور خطا بررسی می شود. تمامی شبیه سازی ها در محیط نرم افزار متلب/ سیمپولینک انجام شده است.

### ۱-۱-۶ طراحی رؤیتگرهای تشخیص خطا

همانطور که در فصل ۳ توضیح داده شد، برای زیرسیستم (رؤیت پذیر) راندن داریم:

$$A = \begin{bmatrix} -0.6383 & -1.4439 & 0 \\ 0.0591 & -0.4659 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0.1708 & -0.2650 \\ 0.1924 & 0.302 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

این روش مبتنی بر این فرض است که ماتریس توزیع اغتشاش  $E$  به صورت پیش فرض معلوم است.

ورودی کنترلی  $u = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ ، ماتریس توزیع اغتشاش  $E = [1 \quad 1 \quad 1]^T$  و حالت های اولیه ی سیستم و رؤیتگرها 0.2 فرض می شوند.

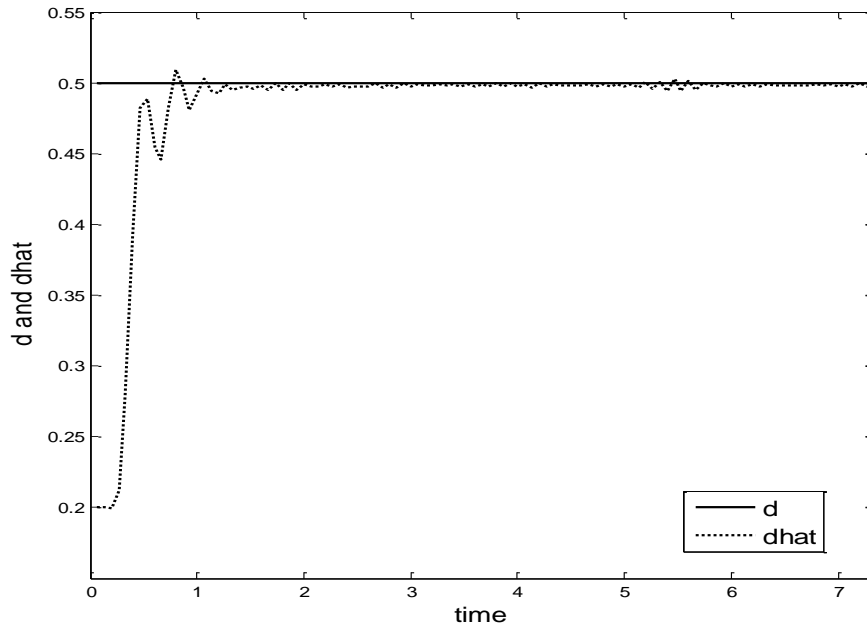
#### • رؤیتگر اغتشاش

در حضور اغتشاش ثابت  $d = 0.5$ ، بهره ی رؤیتگر اغتشاش به این صورت محاسبه می شود:

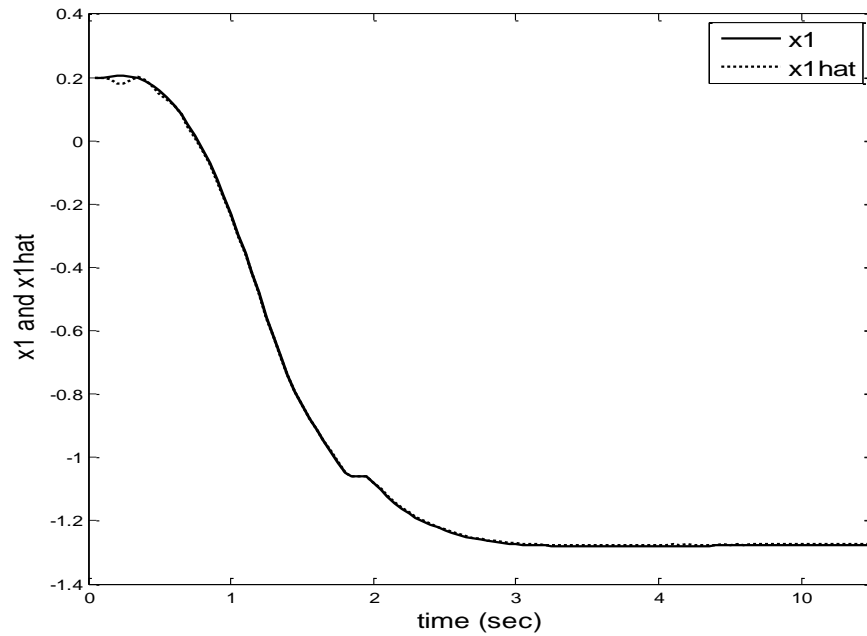
$$L_D = \begin{bmatrix} 1.3905 & -1.0448 \\ 0.6779 & -0.3499 \\ -0.4890 & 1.4921 \\ 0.2218 & -0.2039 \end{bmatrix}$$

در شکل (۱-۶) و (۲-۶) به ترتیب تخمین اغتشاش و تخمین حالت بدست آمده توسط رؤیتگر اغتشاش

دیده می شود.



شکل (۶-۱) تخمین اغتشاش توسط رویتنگر اغتشاش



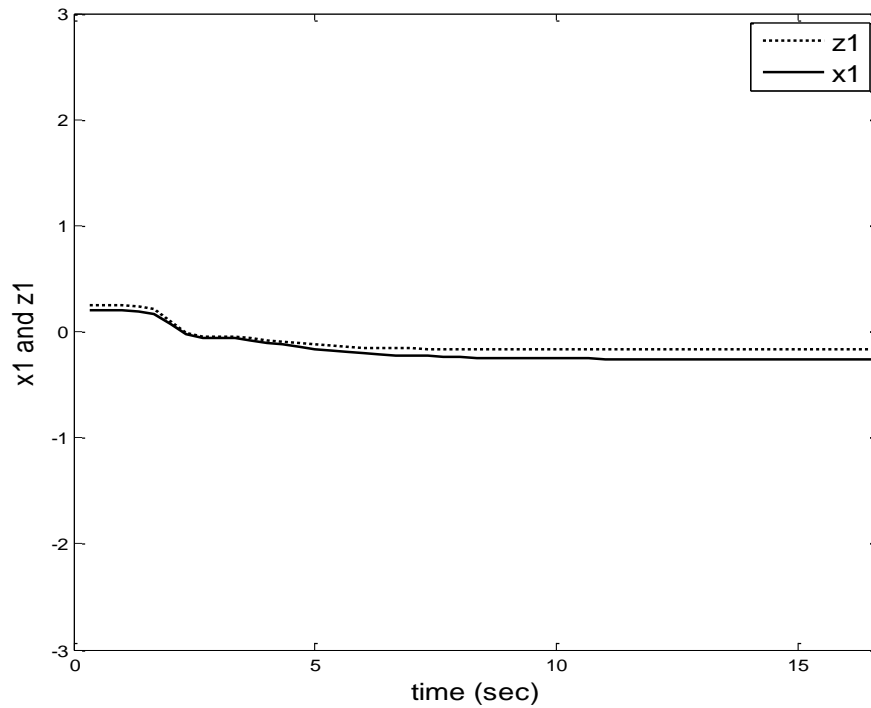
شکل (۶-۲) تخمین حالت توسط رویتنگر اغتشاش

- رؤیتگر ورودی نامعلوم

در حضور اغتشاش ثابت  $d = 0.1$ ، ماتریس های طراحی رؤیتگر به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$F = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad K = \begin{bmatrix} -2.2110 & -0.5000 \\ -0.2329 & -0.5000 \\ 0.2329 & 0.5000 \end{bmatrix}$$

شکل (۳-۶) تخمین حالت به دست آمده توسط رؤیتگر ورودی نامعلوم را نشان می دهد..



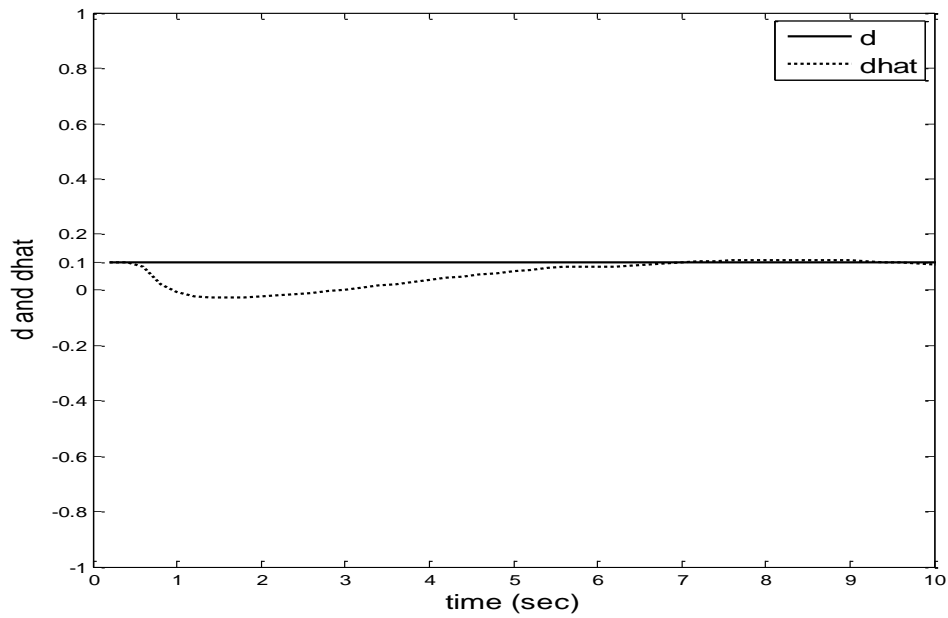
شکل (۳-۶) تخمین حالت توسط رؤیتگر ورودی نامعلوم

- رؤیتگر انتگرالی نسبی

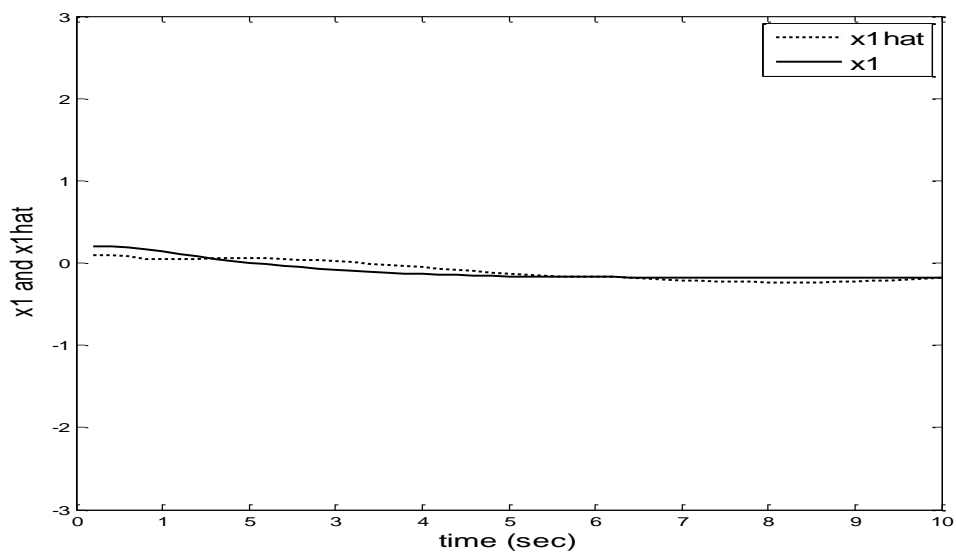
در حضور اغتشاش ثابت  $d = 0.1$ ، بهره های نسبی و انتگرالی رؤیتگر انتگرالی نسبی به این صورت محاسبه می شوند:

$$K_p = \begin{bmatrix} 0.7335 & 1.2160 \\ 0.7285 & 0.9688 \\ 0.8689 & -2.2339 \end{bmatrix}, \quad K_I = [0.7751 \quad 0.8410]$$

در شکل (۴-۶) و (۵-۶) به ترتیب تخمین اغتشاش و تخمین حالت به دست آمده توسط این رؤیتگر قابل مشاهده است.



شکل (۴-۶) تخمین اغتشاش توسط رؤیتگر انتگرالی نسبی

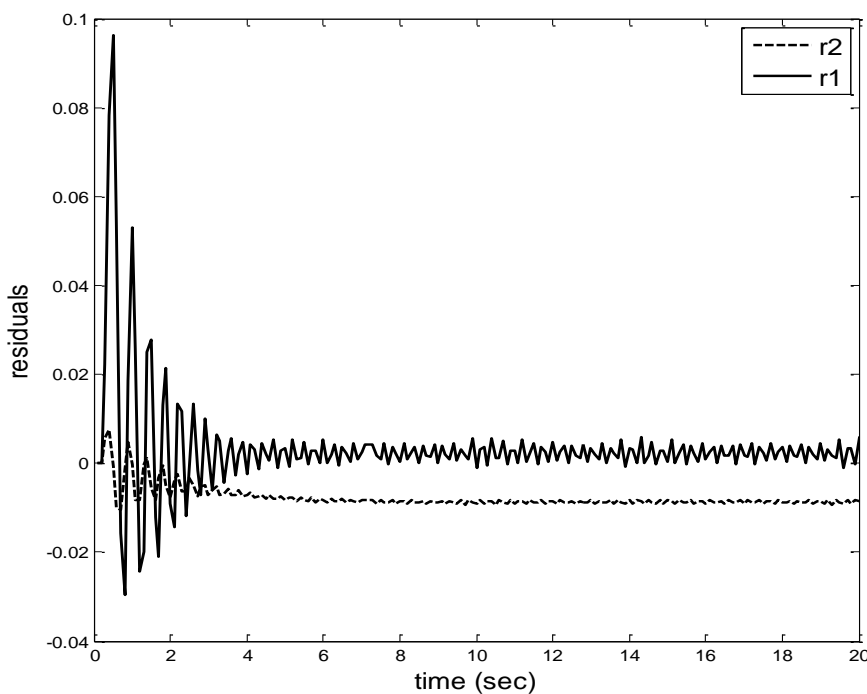


شکل (۵-۶) تخمین حالت توسط رؤیتگر انتگرالی نسبی

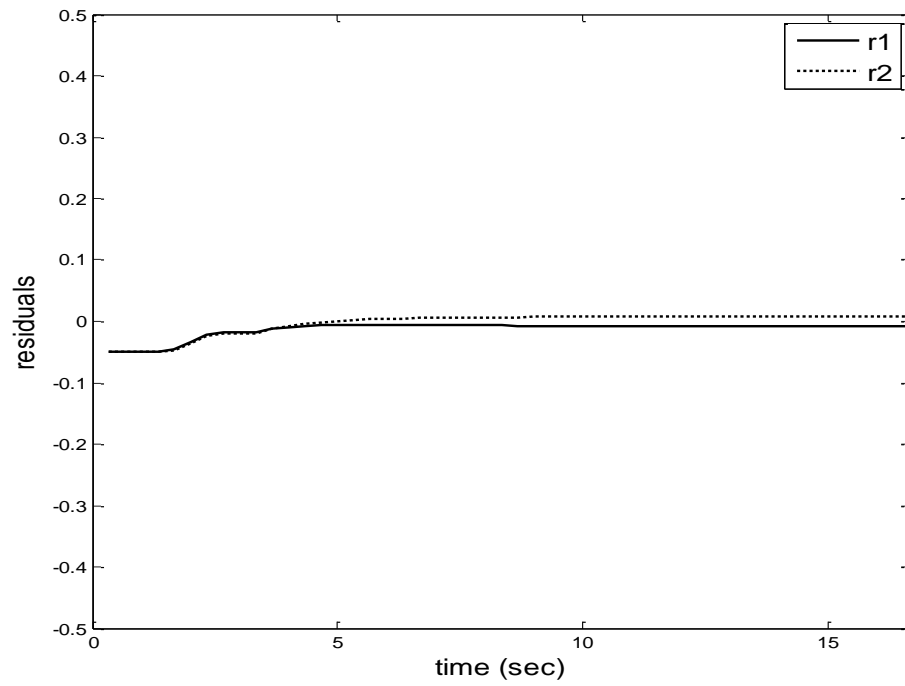
مشاهده می شود که تمامی رؤیتگرها قادر به تخمین موفقیت آمیز حالت می باشند. رؤیتگرهای اغتشاش و انتگرالی نسبی به طور مستقیم قادر به تخمین اغتشاش نیز می باشند. در این تحقیق مشاهده شد که رؤیتگر اغتشاش در برابر اغتشاشات با دامنه ی بزرگتر مقاوم تر است.

### ۶-۱-۲ تشخیص خطای مقاوم سنسور مبتنی بر رؤیتگر

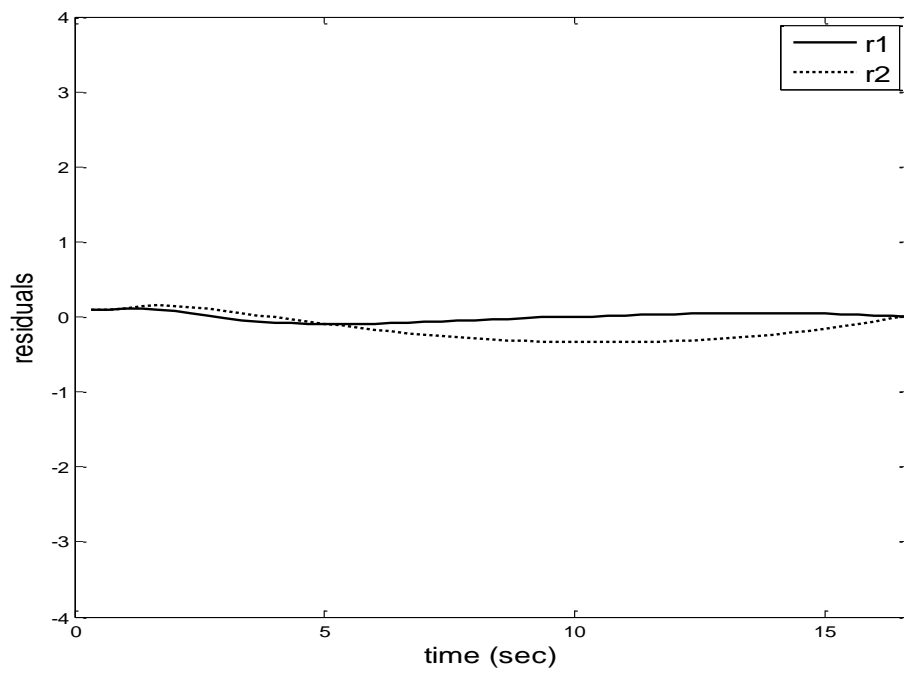
هدف نهایی از طراحی رؤیتگرهای بالا تحقق هدف تشخیص خطای مقاوم می باشد. در این بخش سیگنال های باقیمانده (خطای تخمین خروجی) تولید شده توسط رؤیتگرها را بررسی و مقاوم بودنشان را ارزیابی می کنیم. در ابتدا باقیمانده ها را تنها در حضور اغتشاش و عدم حضور خطا نشان می دهیم. مطلوب است که یک رؤیتگر مقاوم، مجزا سازی اغتشاش را انجام داده و در عدم حضور خطا باقیمانده هایی با مقدار صفر و یا بسیار نزدیک به صفر تولید کند. شکل های (۶-۶)، (۶-۷) و (۶-۸) ، به ترتیب سیگنال های باقیمانده در حضور اغتشاش برای رؤیتگرهای اغتشاش، ورودی نامعلوم و انتگرالی- نسبی را نشان می دهند.



شکل (۶-۶) باقیمانده های رؤیتگر اغتشاش وقتی تنها اغتشاش حضور دارد.



شکل (۶-۷) باقیمانده های رؤیتگر ورودی نامعلوم وقتی تنها اغتشاش حضور دارد.

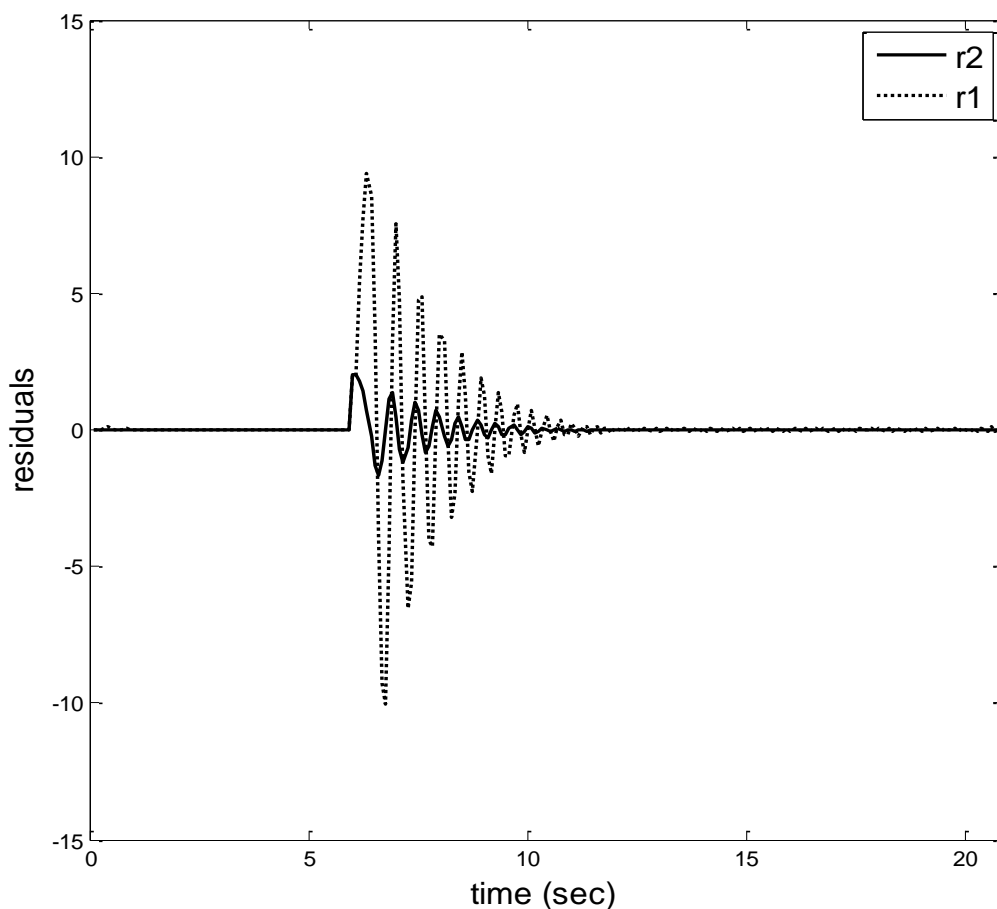


شکل (۶-۸) باقیمانده های رؤیتگر انتگرالی نسبی وقتی تنها اغتشاش حضور دارد.

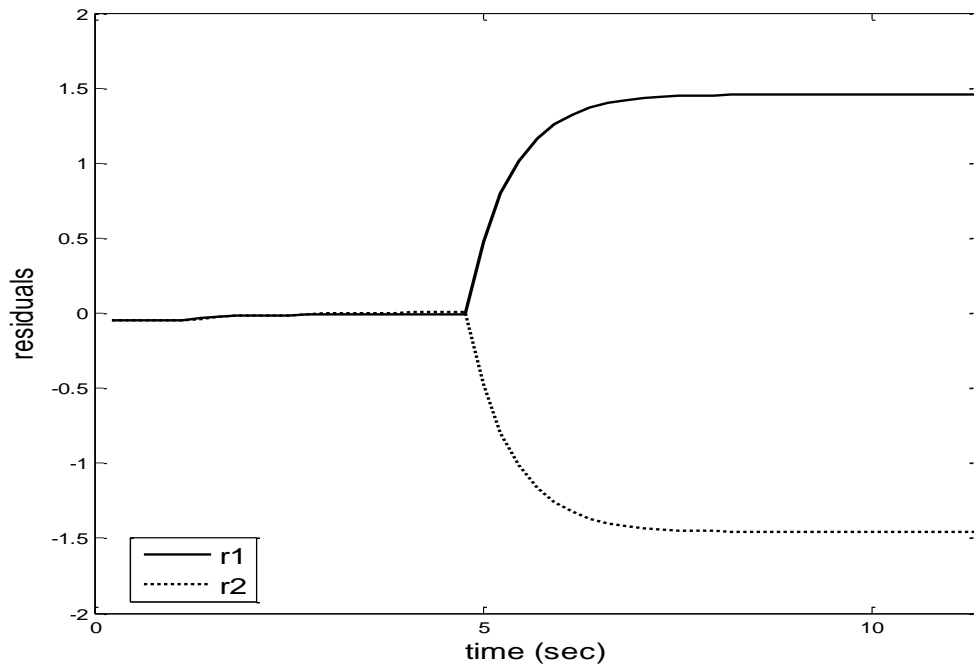


مشاهده می شود که رؤیتگرهای معرفی شده قادر هستند در حضور اغتشاش باقیمانده های بسیار نزدیک به صفر تولید کنند

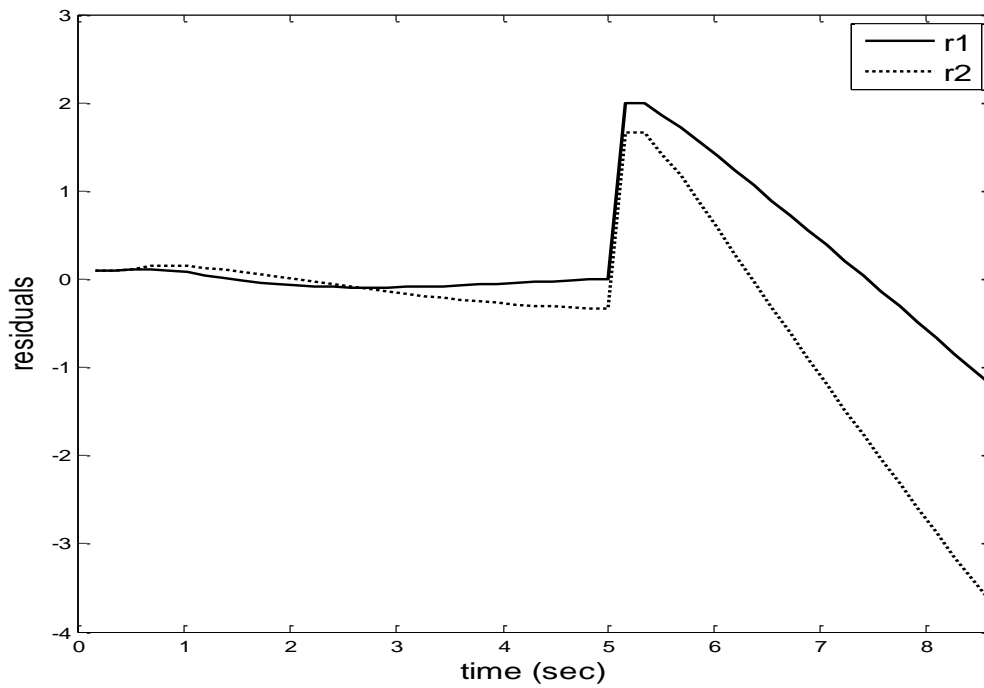
در ادامه و با حضور اغتشاش، فرض می کنیم که یک خطای سنسور در لحظه  $t > 5$  ثانیه به سیستم وارد شود. مطلوب است باقیمانده های مقاوم با حفظ ویژگی حداقل حساسیت به اغتشاش، از لحظه ی وقوع خطا بر روی سنسور حداکثر حساسیت به خطا را نشان دهند. شکل های (۶-۹)، (۶-۱۰) و (۶-۱۱) به ترتیب سیگنال های باقیمانده در حضور خطای سنسور برای رؤیتگرهای اغتشاش، ورودی نامعلوم و انتگرالی نسبی نشان می دهند.



شکل (۶-۹) باقیمانده های رؤیتگر اغتشاش در حضور خطای سنسور



شکل (۶-۱۰) باقیمانده های رژیتر ورودی نامعلوم در حضور خطای سنسور



شکل (۶-۱۱) باقیمانده های رژیتر انتگرالی نسبی در حضور خطای سنسور

مشاهده می شود که در هنگام وقوع خطا، دامنه ی سیگنال های باقیمانده در هر سه رؤیتگر به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. اما سیگنال های باقیمانده ی رؤیتگر اغتشاش که در هنگام وقوع خطا اوج گرفته بودند، پس از زمانی کوتاه ( حدود ۵ ثانیه ) دوباره صفر می شوند. این مسأله حساسیت پایین تر باقیمانده های این رؤیتگر به خطا را نشان می دهد.

تأثیر وقوع خطای سنسور بر سیگنال های باقیمانده را مشاهده کردیم اما هنوز قادر نیستیم سنسوری که در آن خطا اتفاق افتاده را تعیین کنیم. برای این کار نیاز به طراحی بانکی از رؤیتگر ها داریم که سیگنال های باقیمانده ی کاملاً مقاوم و قابل اطمینانی را برای امر تشخیص و جداسازی خطای مقاوم تولید کند. در بخش بعدی یک روش تشخیص و جداسازی خطای سنسور را برای زیرسیستم شیرجه از زیر دریایی بدون سرنشین، با تکیه بر رؤیتگرهای ورودی نامعلوم بهینه ارائه می کنیم.

## ۶-۲ تشخیص و جداسازی مقاوم خطای سنسور

### ۶-۲-۱ طراحی بانک رؤیتگرهای ورودی نامعلوم

همانطور که در فصل ۳ توضیح داده شد، برای زیر سیستم شیرجه داریم:

$$A = \begin{bmatrix} -0.7589 & -0.1089 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -3 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} -0.0697 & -0.0929 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

در اینجا نیز ماتریس توزیع اغتشاش معلوم فرض می شود:

$$E = [1 \quad 1 \quad 1]^T$$

برای شروع فرآیند طراحی، شرط ۱ از قضیه ی (۴.۱) با مشاهده ی اینکه  $rank(E) = rank(CE) = 1$

تأیید می شود. آنگاه ماتریس های  $H$ ،  $T$  و  $A_1$  به این صورت محاسبه می شوند:

$$H = \begin{bmatrix} 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \end{bmatrix}, T = \begin{bmatrix} 0.6667 & -0.3333 & -0.3333 \\ -0.3333 & 0.6667 & -0.3333 \\ -0.3333 & -0.3333 & 0.6667 \end{bmatrix}$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} -0.8393 & 0.9276 & 0 \\ 0.9196 & 1.0362 & 0 \\ -0.0804 & -1.9638 & 0 \end{bmatrix}$$

می دانیم زوج  $(C, A_1)$  رؤیت پذیر است اگر ماتریس  $O = \begin{bmatrix} C \\ CA_1 \\ CA_1^2 \end{bmatrix}$  که ماتریس رؤیت پذیری نام دارد از

مرتبه ی کامل (مرتبه ی ۳) باشد. با محاسبه ی ماتریس رؤیت پذیری می بینیم که شرط ۲ از قضیه ی

(۴-۱) نیز برآورده می شود زیرا ماتریس رؤیت پذیری از مرتبه ی کامل است، بنابراین رؤیتگر ورودی-

نامعلوم قابل ساخت است. ماتریس های طراحی رؤیتگر به صورت زیر تعیین می شوند:

$$F = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, K = \begin{bmatrix} -0.1726 & 0.5943 & -0.3333 \\ 0.5863 & 1.7029 & -0.3333 \\ -0.4137 & -2.2971 & 0.6667 \end{bmatrix}$$

همان طور که در فصل ۳ ذکر شد از سه سنسور فشارسنج برای اندازه گیری عمق  $z$ ، انحراف سنج برای

اندازه گیری زاویه ی  $\theta$  و ژيروسکوپ برای اندازه گیری نرخ  $q$  استفاده می شود. به منظور اجرای عمل

تشخیص و جداسازی خطای مقاوم برای این سه سنسور بانکی از رؤیتگرها طراحی می شود که در آن هر

رؤیتگر نسبت به خطا یا گروهی از خطاها حساس است، درحالیکه به اغتشاشات (ورودی های نامعلوم) غیر

حساس می باشد. در اینجا سه رؤیتگر ورودی نامعلوم برای سه سنسور طراحی می کنیم. این سه رؤیتگر

نسبت به عامل غیر خطی در سیگنال اغتشاش، مقاوم می باشند.

مطابق توضیحات فصل ۵، رؤیتگر ورودی نامعلوم اول به این شکل ساخته می شود:

$$\dot{z}^1(t) = F^1 z^1(t) + T^1 B u(t) + K^1 y^1(t)$$

$$F^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, K^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0.5863 & 1.7029 & -0.3333 \\ -0.4137 & -2.2971 & 0.6667 \end{bmatrix}$$

$$T^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -0.3333 & 0.6667 & -0.3333 \\ -0.3333 & -0.3333 & 0.6667 \end{bmatrix}$$

و سیگنال باقیمانده به این صورت خواهد بود:

$$r^1 = (I - C^1 H^1) y^1 + C^1 z^1$$

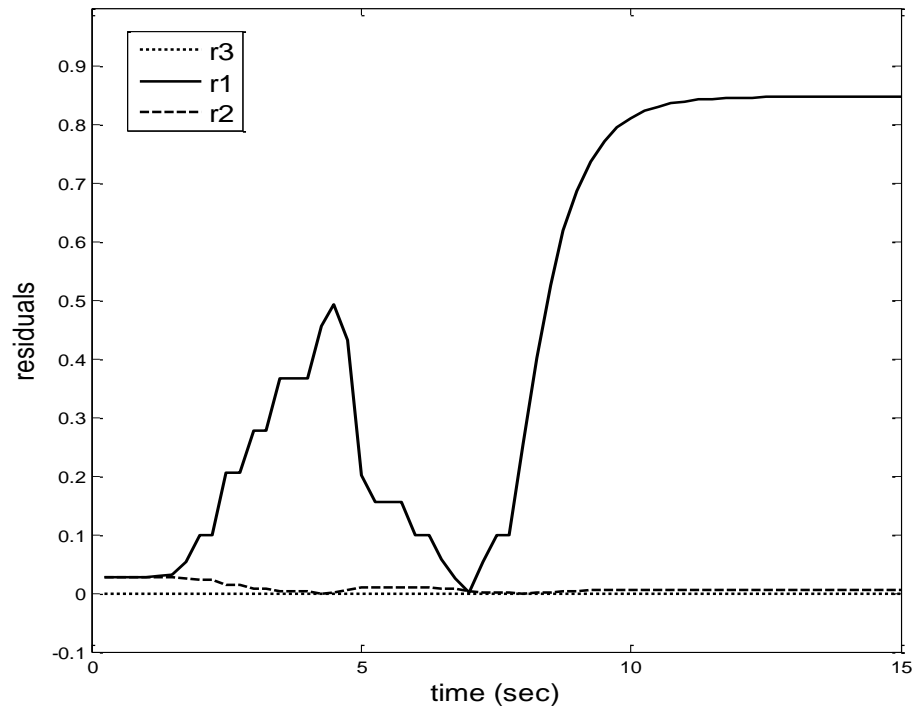
$$C^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad H^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \end{bmatrix}$$

این طراحی به ما اجازه می دهد رؤیتگر ورودی نامعلوم اول را طوری بسازیم که باقیمانده های متناظرش به خطاهای سنسور اول (ژیروسکوپ) غیر حساس و به خطاهای دو سنسور دیگر حساس باشد. به همین ترتیب دو رؤیتگر ورودی نامعلوم دیگر  $\dot{z}^2(t)$  و  $\dot{z}^3(t)$  و باقیمانده های متناظرشان نیز ساخته می شوند.

شبیه سازی ها را برای سه مورد مجزا از وقوع خطا در سه سنسور اجرا می کنیم. در این شبیه سازی ها موفقیت تشخیص و جداسازی خطا را با بررسی تغییرات مربع نرم باقیمانده ها  $\|r_j\|^2$  تعیین می کنیم. اگر خطایی در سنسور  $j$ -ام رخ دهد، آنگاه نرم باقیمانده ی متناظر با آن سنسور  $\|r_j\|$ ، به آن خطا غیر حساس است در حالیکه بقیه ی باقیمانده ها به آن خطا حساس می باشند.

اما در ابتدا میزان مقاوم بودن باقیمانده های طراحی شده در حضور تنها اغتشاش را می سنجیم. شکل (۱۲-۶)  $\|r_1\|^2$  را در حضور  $d = 0.1$  و بدون وقوع خطا نشان می دهد..

از (۱۲-۶) قابل مشاهده است که باقیمانده ها نزدیک به صفر هستند ولی برای اینکه کار تشخیص و جداسازی خطا، کاملاً مقاوم و قابل اعتماد انجام شود ما به باقیمانده های بسیار نزدیکتر به صفر نیاز داریم.



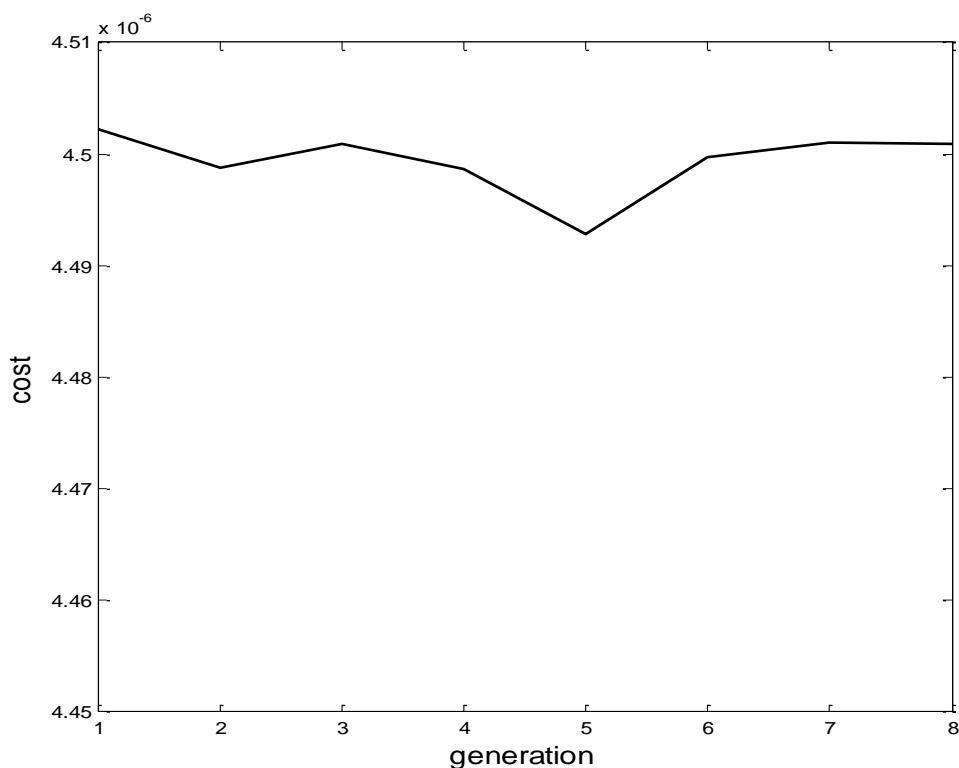
شکل (۶-۱۲) باقیمانده های حساس به اغتشاش

### ۶-۲-۲ طراحی بانک رؤیتگرهای ورودی نامعلوم مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی پرندگان

برای انجام این کار مسأله ی شناسایی پارامترهای ماتریس طراحی  $F$  را به عنوان یک مسأله ی بهینه-سازی در نظر می گیریم. با انتخاب تابع هزینه به صورت:

$$C(\hat{p}) = \int 0.5 \times \sum_j (\|r_j\|)^4 dt$$

الگوریتم را طوری طراحی می کنیم که پارامترهای ماتریس  $F$  را به گونه ای شناسایی کند که در حضور اغتشاش، مربع نرم سیگنال های باقیمانده  $\|r_j\|^2$  حداقل شود. در طی شبیه سازی، هر تولید انبوه ذرات شامل ۸ ذره می باشد.  $W$ ،  $C_1$  و  $C_2$  در (۵-۱۴) به ترتیب ۰، ۱ و ۱ تنظیم می شوند. شکل (۶-۱۳) فرآیند بهینه سازی تابع هزینه را نشان می دهد.



شکل (۶-۱۳) فرآیند بهینه سازی برای تابع هزینه

در پایان ۱۰۰ دور تکرار در نظر گرفته شده، ماتریس  $F$  و  $K$  به این صورت به دست می آید:

$$F = \begin{bmatrix} -73.7846 & 0 & 0 \\ 0 & -137.2853 & 0 \\ 0 & 0 & -136.1570 \end{bmatrix}$$

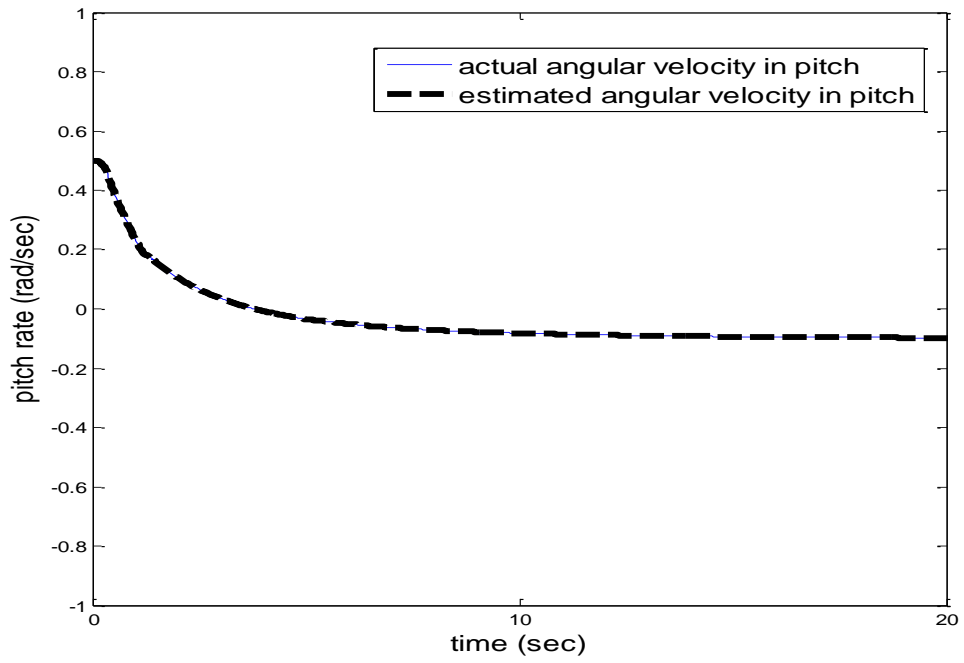
$$K = \begin{bmatrix} 48.3505 & -23.6673 & -24.5949 \\ -44.8421 & 92.5597 & -45.7618 \\ -45.4660 & -47.3495 & 90.7713 \end{bmatrix}$$

حال نتایج شبیه سازی با استفاده از رؤیتگر ورودی نامعلوم بهینه شده (شامل رؤیتگر کلی و بانک رؤیتگر

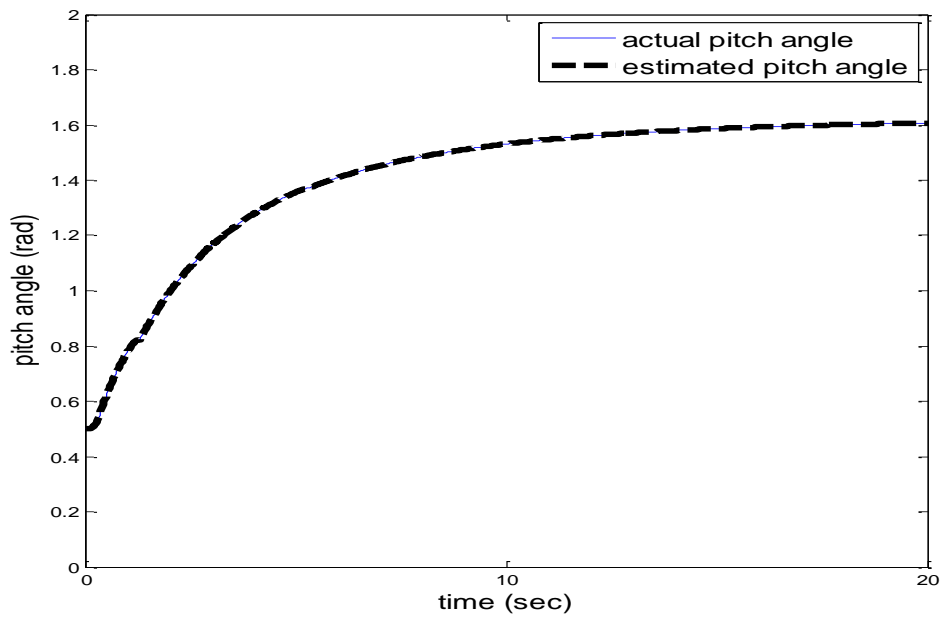
ها) را ارائه می کنیم. تخمین حالت های زیرسیستم شیرجه توسط رؤیتگر بهینه ی طراحی شده در شکل

های (۶-۱۴)، (۶-۱۵) و (۶-۱۶) مشاهده می شود. باقیمانده های مقاوم تولید شده توسط رؤیتگر

ورودی نامعلوم بهینه ی کلی در شکل های (۶-۱۷)، (۶-۱۸) و (۶-۱۹) مشاهده می شود.

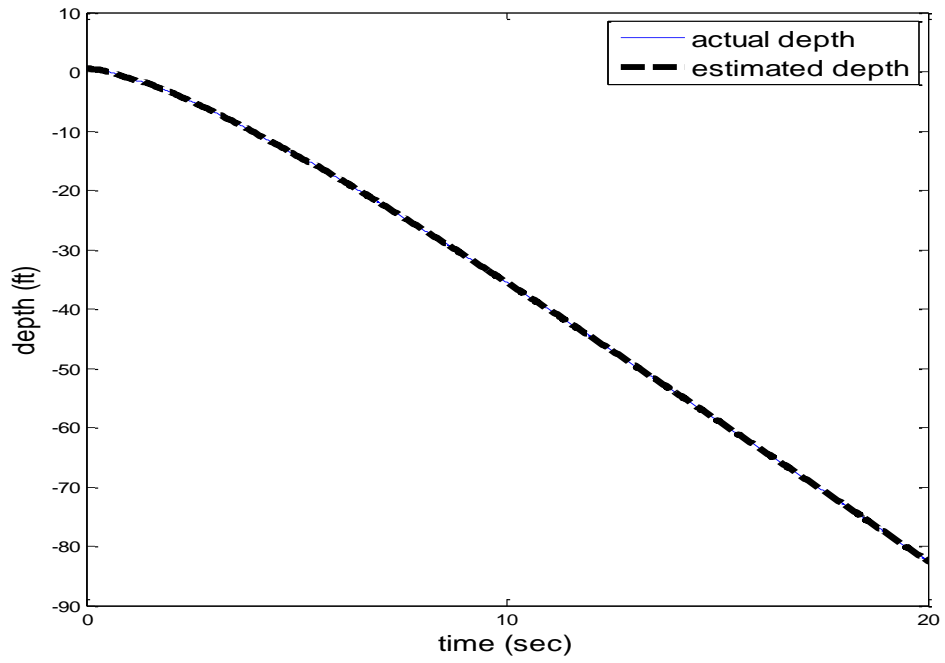


شکل (۱۴-۶) تخمین حالت  $q$  توسط رؤیتگر بهینه

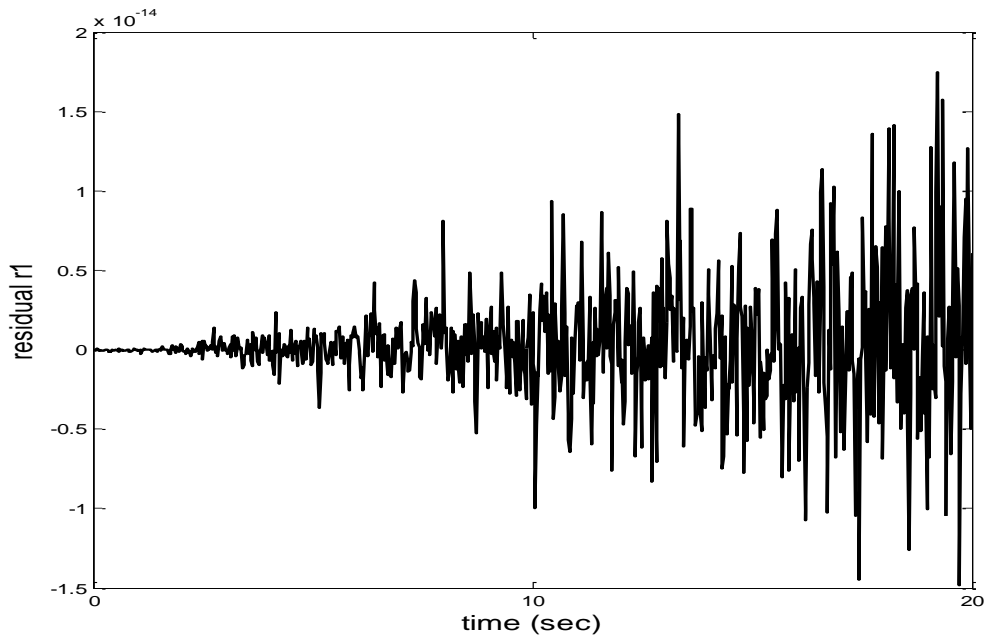


شکل (۱۵-۶) تخمین حالت  $\theta$  توسط رؤیتگر بهینه

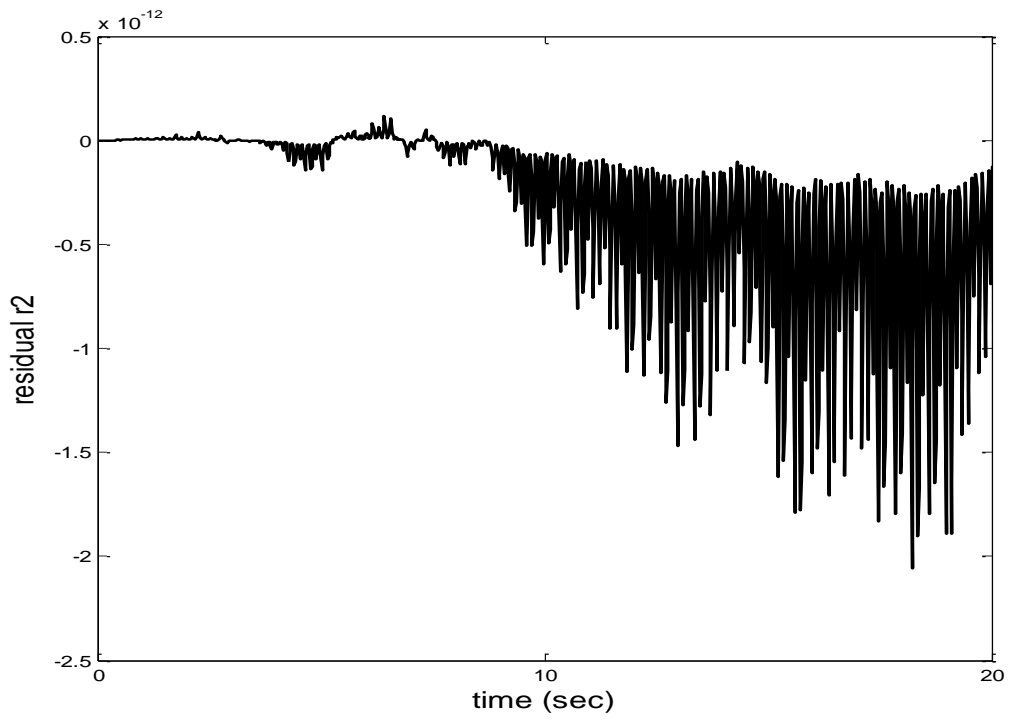




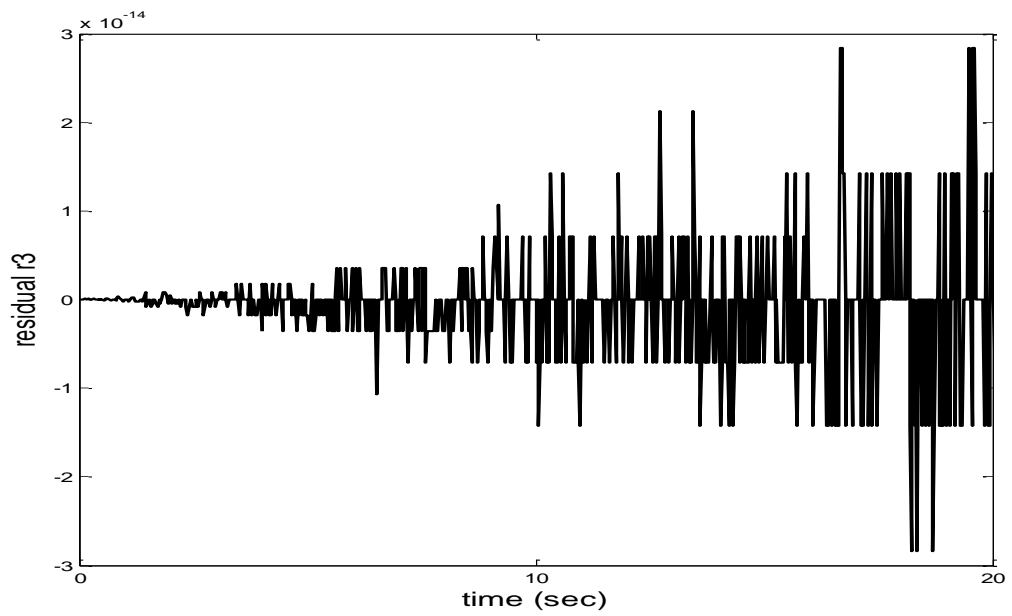
شکل (۶-۱۶) تخمین حالت Z توسط رؤیتگر بهینه



شکل (۶-۱۷) سیگنال باقیمانده ی مقاوم  $r_1$



شکل (۱۸-۶) سیگنال باقیمانده ی مقاوم  $r_2$



شکل (۱۹-۶) سیگنال باقیمانده ی مقاوم  $r_3$

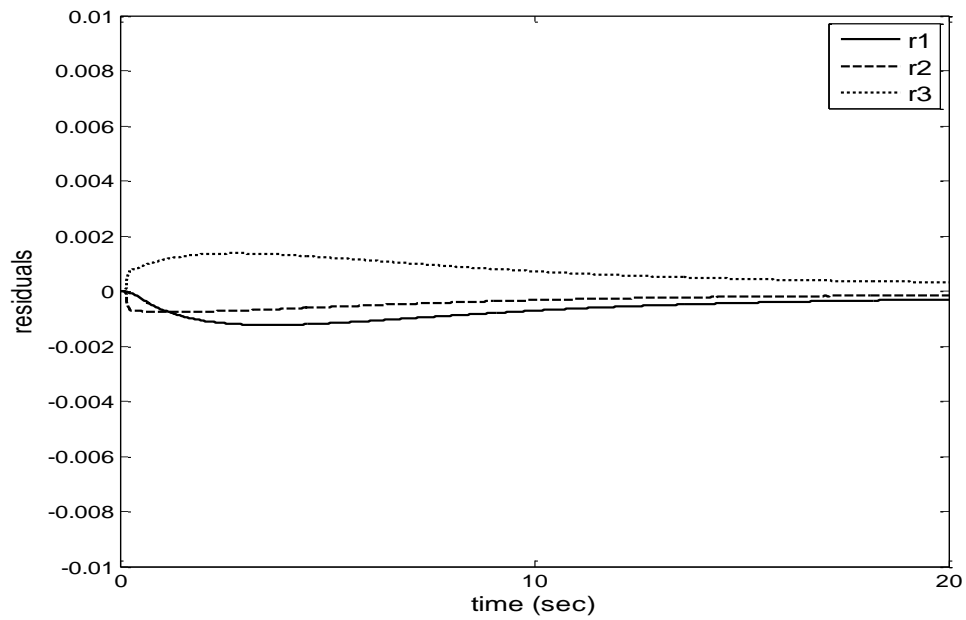
### ۶-۲-۳ ارزیابی مقاوم بودن

دیدیم که در حضور سیگنال اغتشاش  $d = 0.1$  به نتایج مطلوبی از سیگنال های باقیمانده ی مقاوم دست پیدا کردیم. آنها در حضور اغتشاش، بسیار بسیار کوچکند (تقریباً صفر هستند). در اینجا مقاوم بودن سیگنال های باقیمانده را نسبت به تغییرات پارامتری بررسی می کنیم. مقاوم بودن رؤیتگر ورودی نامعلوم طراحی شده به تغییرات پارامتری در فرآیند، با اجرای شبیه سازی به طوریکه ماتریس  $A$  به این صورت تغییر پیدا کرده، قابل ارزیابی است:

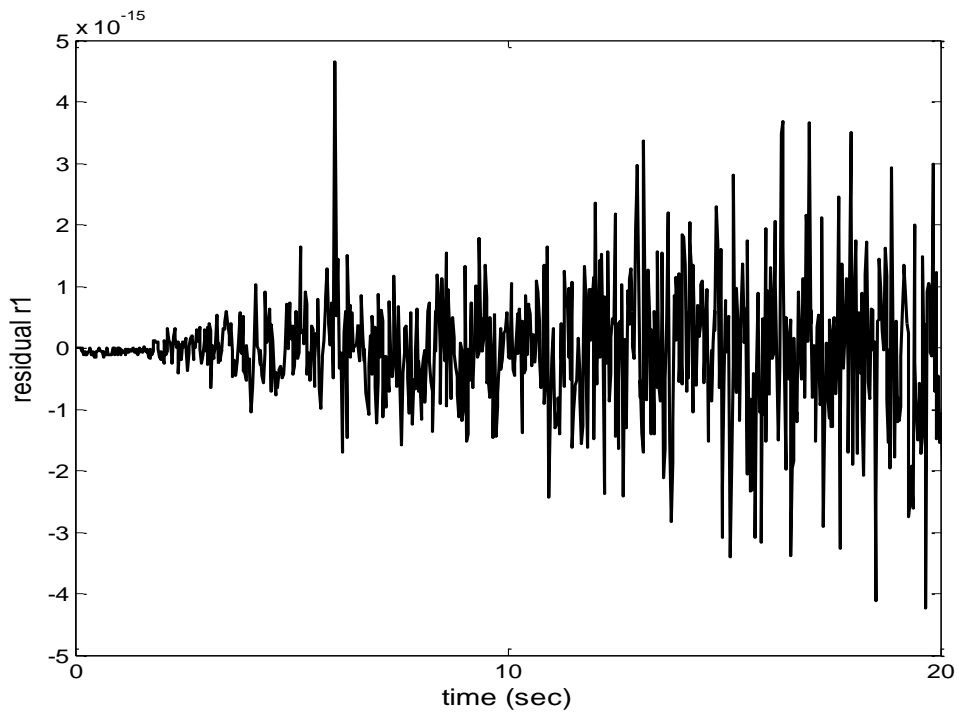
$$A + \Delta A = \begin{bmatrix} -0.8348 & -0.1195 & 0 \\ 1.1000 & 0 & 0 \\ 0 & -3.3000 & 0 \end{bmatrix}, \quad \Delta A = 0.1A$$

شکل (۶-۲۰) سیگنال های باقیمانده ( خطای تخمین خروجی) تولید شده توسط رؤیتگر بهینه ی طراحی شده را در حضور تغییرات پارامتری و اغتشاش نشان می دهد.

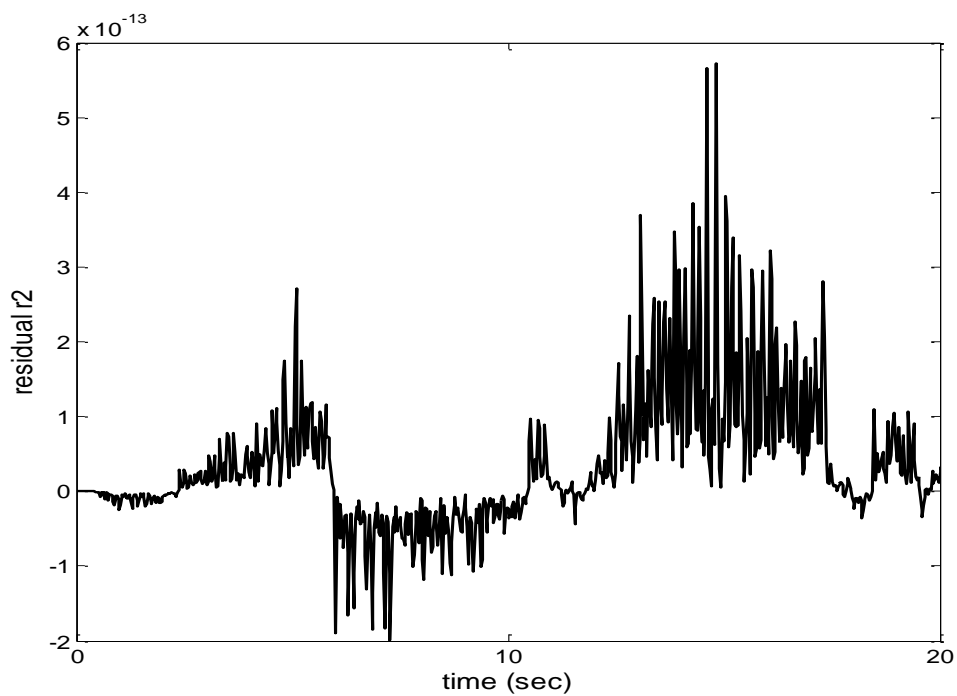
در ادامه مقاوم بودن سیگنال های باقیمانده را در برابر حضور عامل غیر خطی در سیگنال اغتشاش می سنجیم. شکل های (۶-۲۱)، (۶-۲۲) و (۶-۲۳) سیگنال های باقیمانده ی مقاوم تولید شده توسط رؤیتگر بهینه را در حضور اغتشاش  $d = 0.1(1 + \sin(t))$  نشان می دهد.



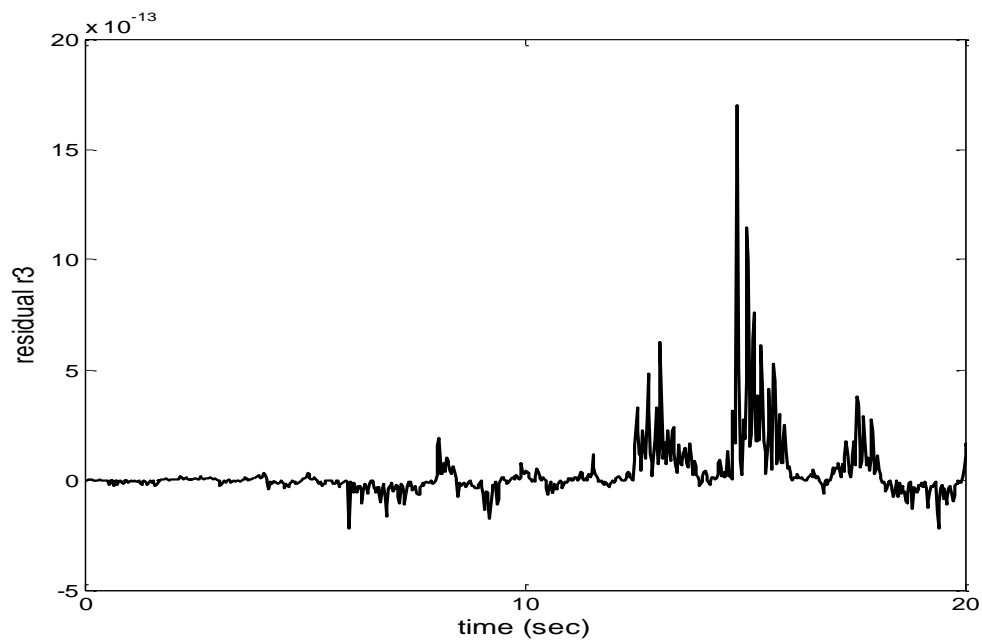
شکل (۶-۲۰) باقیمانده های مقاوم در حضور تغییرات پارامتری و اغتشاش



شکل (۶-۲۱) سیگنال باقیمانده ی مقاوم  $r_1$  در حضور اغتشاش با عامل غیر خطی



شکل (۲۲-۶) سیگنال باقیمانده ی مقاوم  $r_2$  در حضور اغتشاش با عامل غیر خطی



شکل (۲۳-۶) سیگنال باقیمانده ی مقاوم  $r_3$  در حضور اغتشاش با عامل غیر خطی

به این صورت باقیمانده های مقاوم مطلوب را تولید کردیم. در راستای اجرای جداسازی خطای مقاوم سنسور باید بانکی از رؤیتگرهای ورودی نامعلوم بهینه را به کار بگیریم.

#### ۴-۲-۶ تشخیص و جداسازی مقاوم خطای سنسور با استفاده از رؤیتگر بهینه

اکنون باقیمانده های تولید شده توسط سه رؤیتگر بهینه ی طراحی شده برای بانک رؤیتگر های ورودی نامعلوم را در حضور خطای سنسور بررسی می کنیم. خطاهای شبیه سازی شده ای که به سنسورها وارد می کنیم از این قرارند:

(۱) یک خطا بر روی سنسور اول (ژیروسکوپ) هنگامیکه  $t > 5$  ثانیه است رخ دهد. سیگنال خطا

برابر با  $10\%u$  می باشد و سیگنال اغتشاش  $d = 0.1$  فرض می شود.

(۲) یک خطا بر روی سنسور دوم ( انحراف سنج ) هنگامیکه  $t > 5$  ثانیه است رخ دهد. سیگنال

خطا برابر با  $5\% \sin(t - 5)u$  می باشد و سیگنال اغتشاش  $d = 0.1$  فرض می شود. در

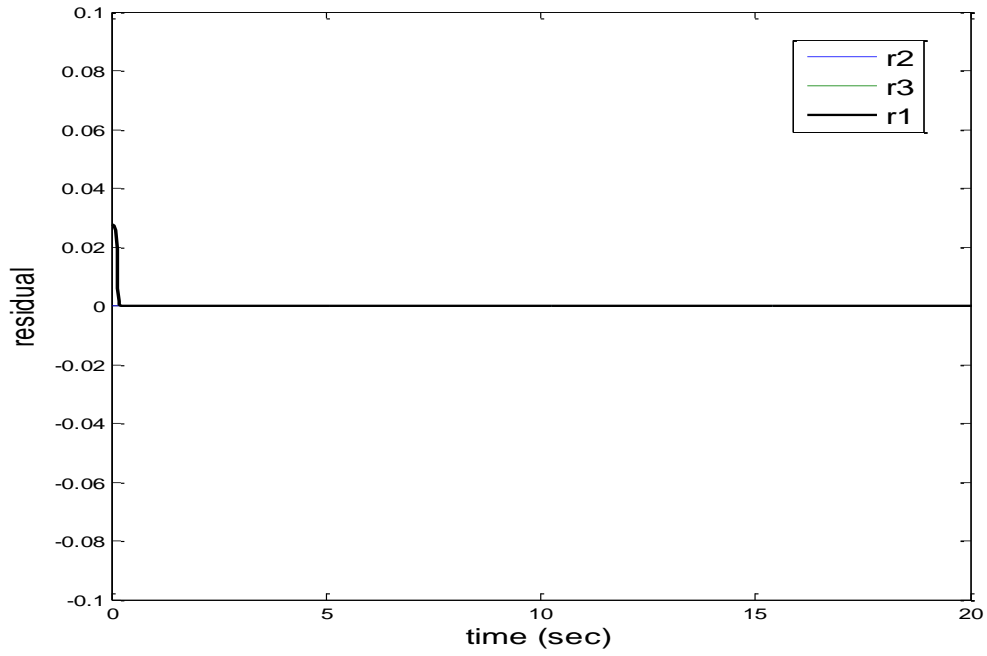
این حالت فرض می کنیم سیستم در معرض تغییرات پارامتری نیز قرار گرفته است.

(۳) یک خطا بر روی سنسور سوم ( فشارسنج ) هنگامیکه  $t > 5$  ثانیه است رخ دهد. سیگنال خطا

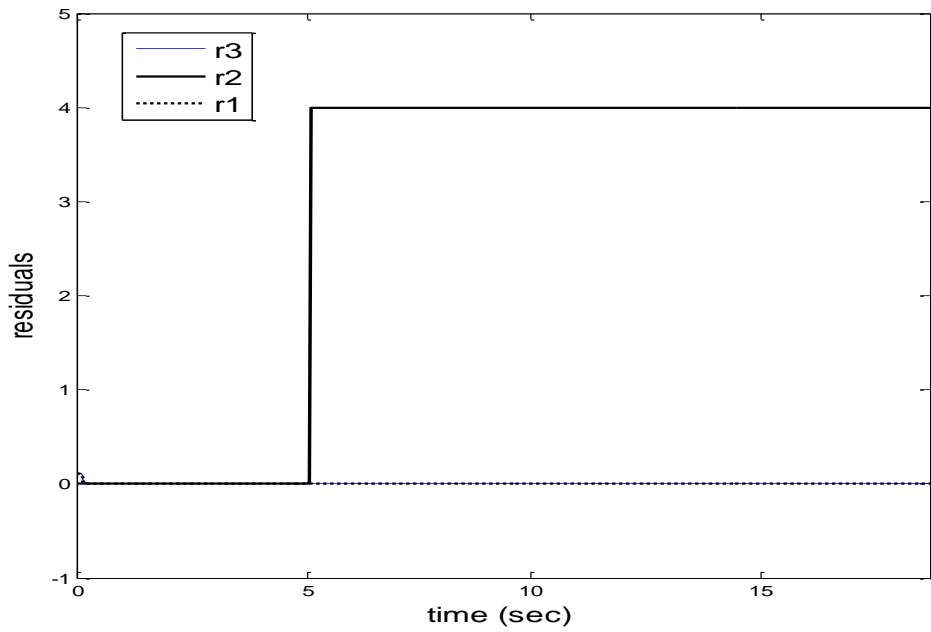
برابر با  $-5\%u$  می باشد و سیگنال اغتشاش  $d = 0.1(1 + \sin(t))$  فرض می شود.

در اینجا  $u = \begin{bmatrix} 20 \\ 20 \end{bmatrix}$  سیگنال ورودی است.

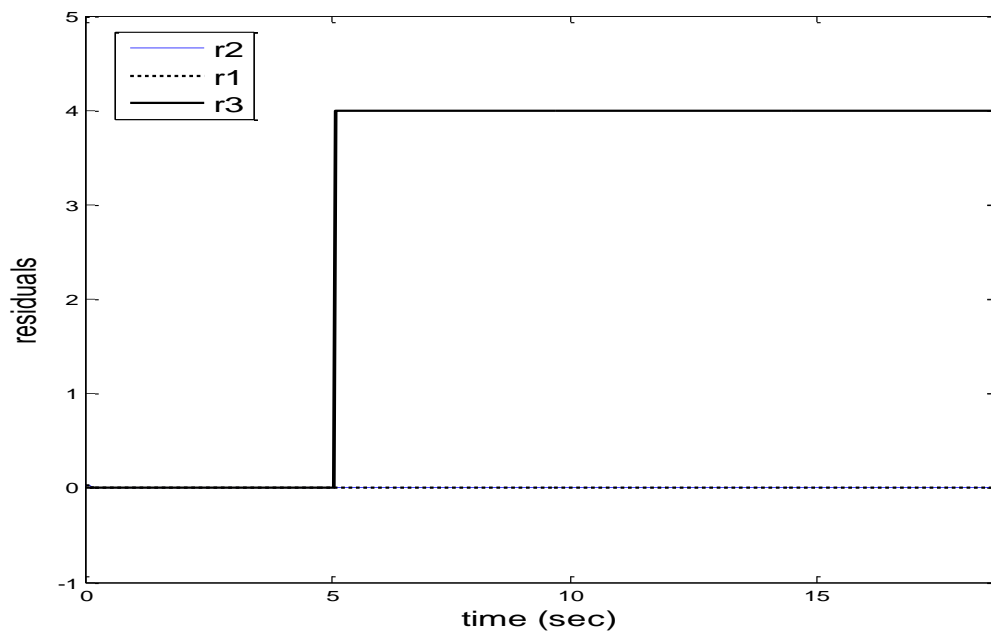
شکل های (۲۴-۶)، (۲۵-۶) و (۲۶-۶) تأثیر خطای شماره ۱ را بر باقیمانده های سه رؤیتگر بهینه نشان می دهد. شکل های (۲۷-۶)، (۲۸-۶) و (۲۹-۶) تأثیر خطای شماره ۲ را بر باقیمانده های سه رؤیتگر نشان می دهند. شکل های (۳۰-۶)، (۳۱-۶) و (۳۲-۶) تأثیر خطای شماره ۳ را بر باقیمانده های سه رؤیتگر نشان می دهند.



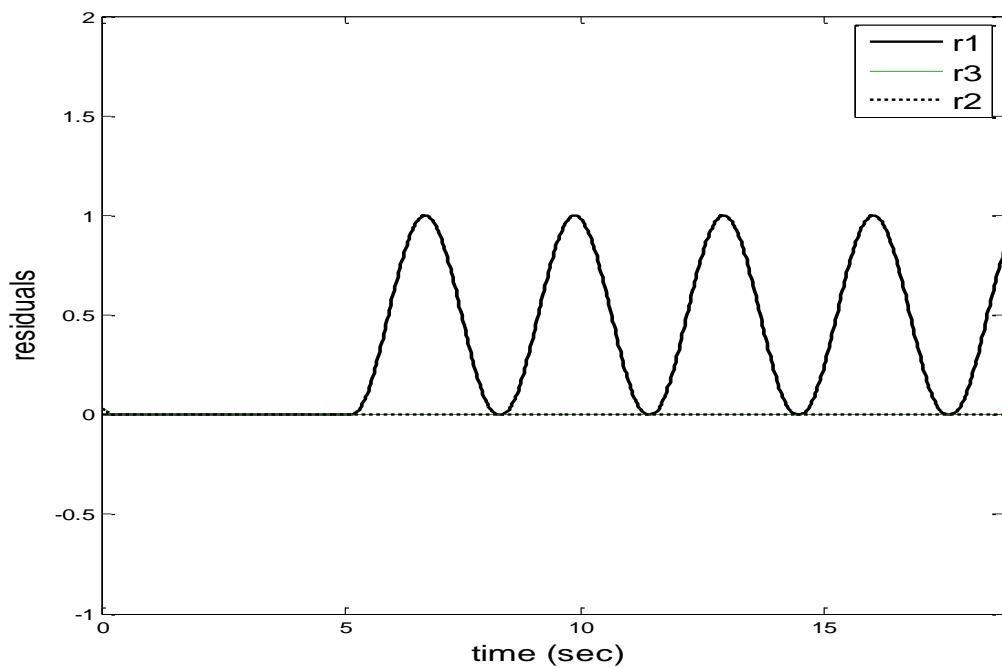
شکل (۶-۲۴) تأثیر خطای سنسور ۱ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه اول



شکل (۶-۲۵) تأثیر خطای سنسور ۱ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه دوم

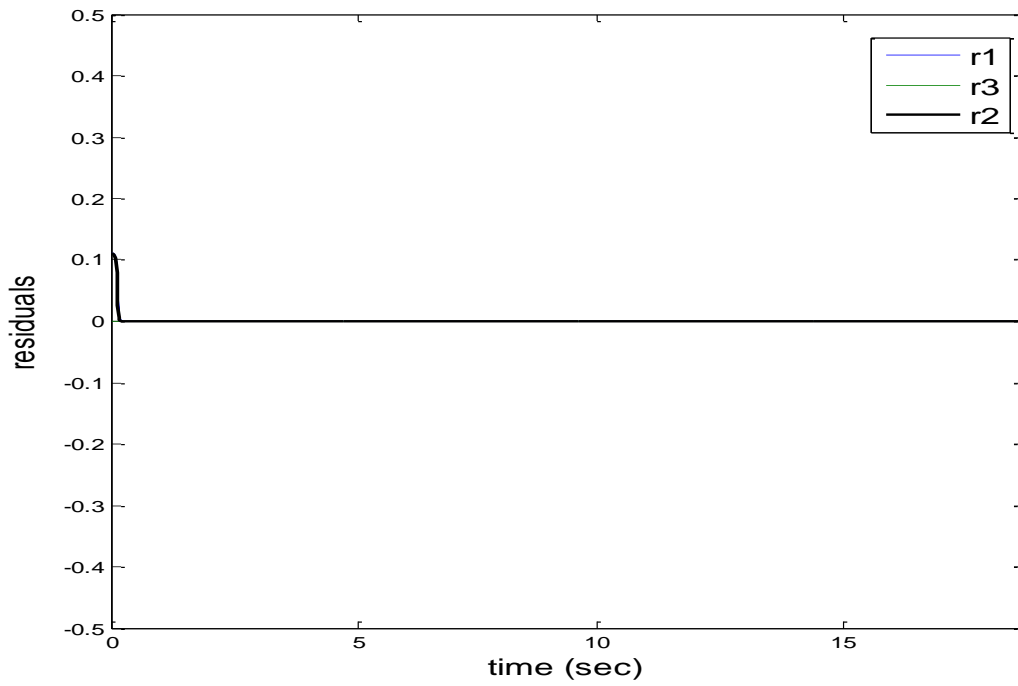


شکل (۶-۲۶) تأثیر خطای سنسور ۱ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه سوم

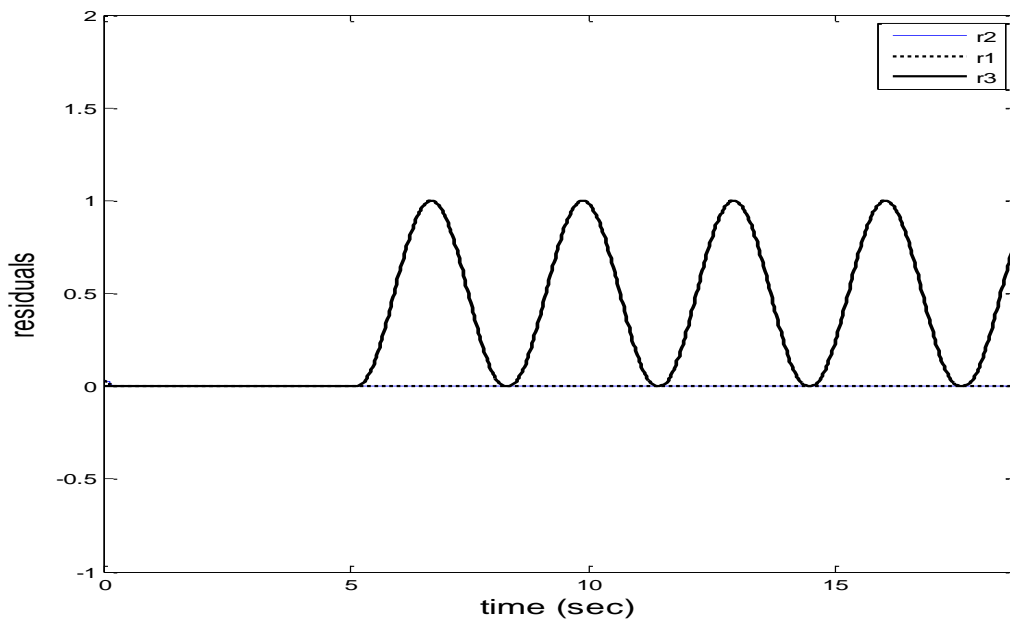


شکل (۶-۲۷) تأثیر خطای سنسور ۲ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه اول

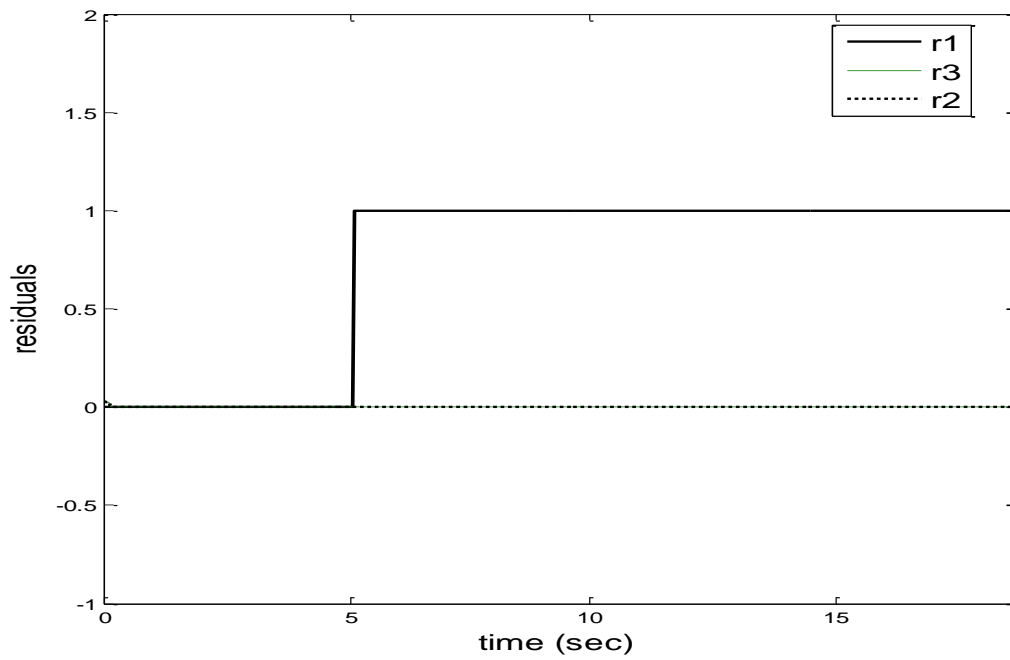




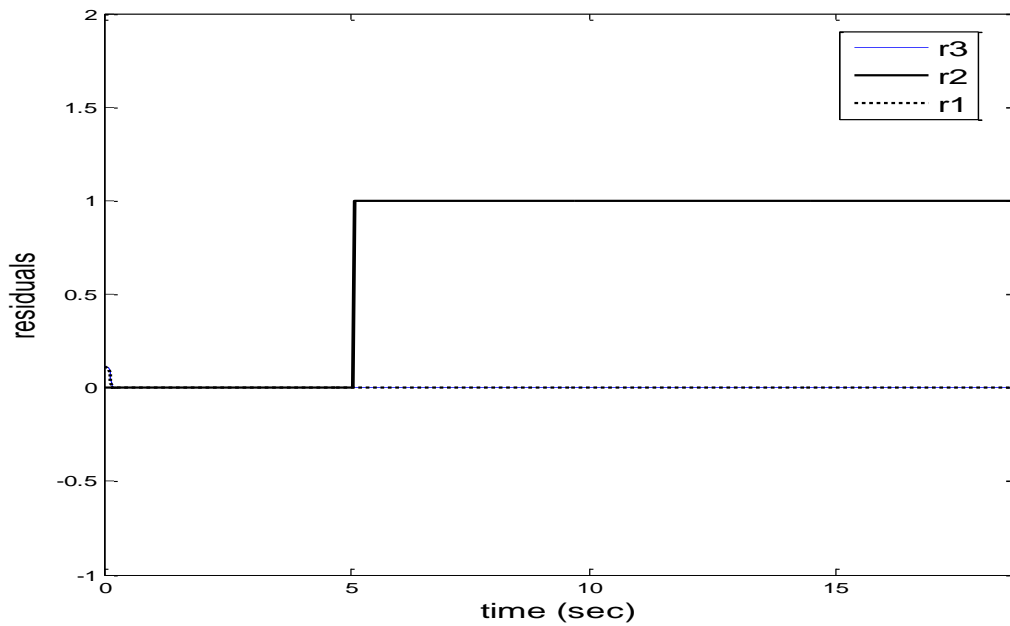
شکل (۶-۲۸) تأثیر خطای سنسور ۲ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه دوم



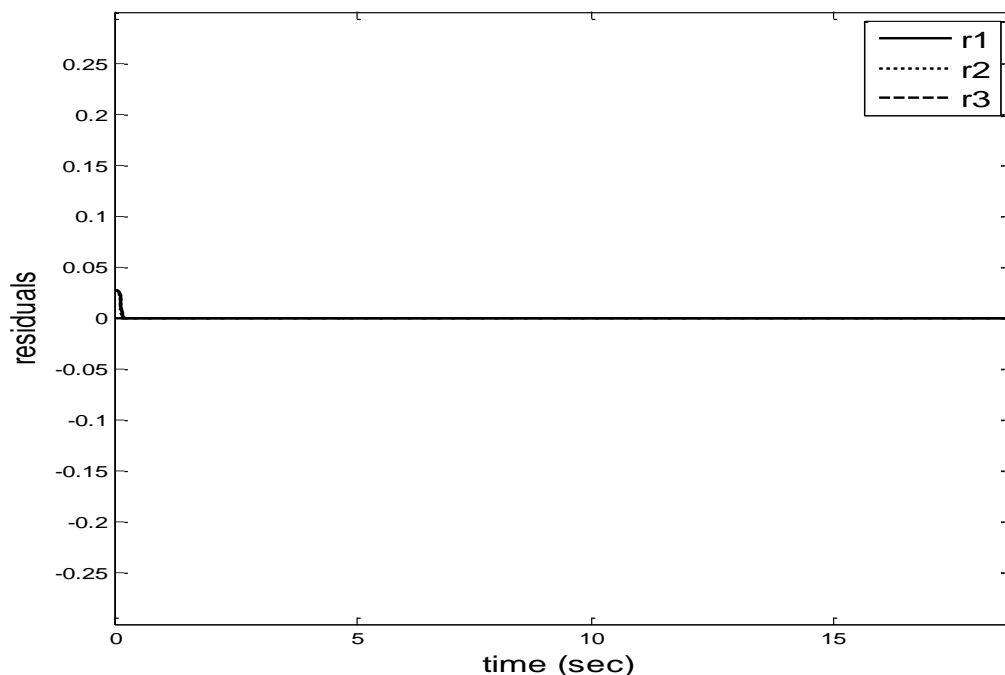
شکل (۶-۲۹) تأثیر خطای سنسور ۲ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه سوم



شکل (۳۰-۶) تأثیر خطای سنسور ۳ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه اول



شکل (۳۱-۶) تأثیر خطای سنسور ۳ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه دوم



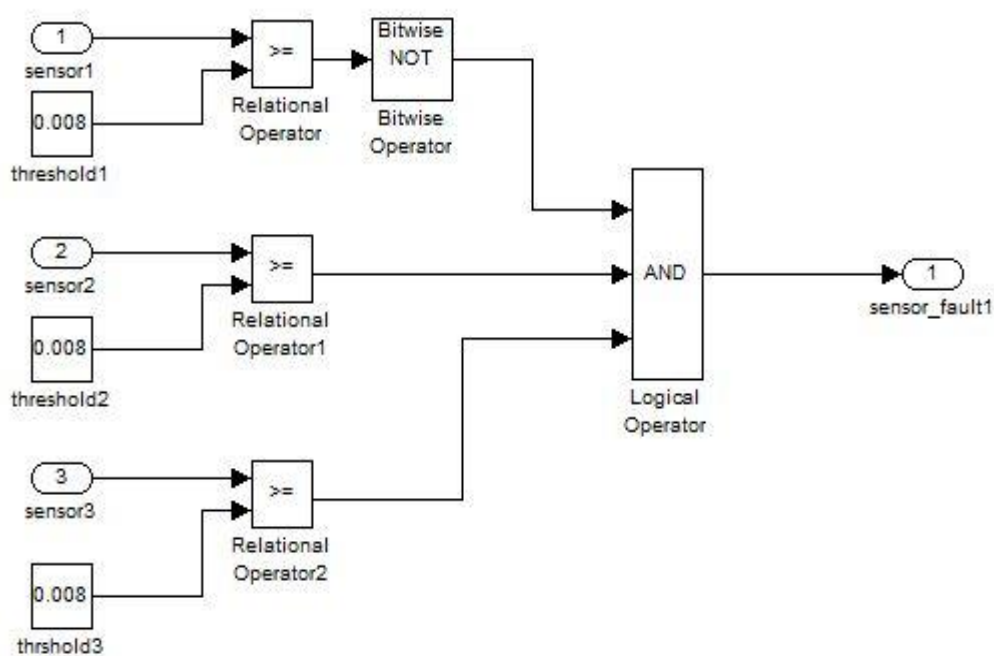
شکل (۶-۳۲) تأثیر خطای سنسور ۳ بر باقیمانده های رؤیتگر بهینه سوم

همانطور که ملاحظه می شود اگر خطایی در سنسور  $z$ -ام رخ دهد، آنگاه نرم باقیمانده ی متناظر با آن سنسور ،  $\|r_j\|$ ، به آن خطا غیر حساس است در حالیکه بقیه ی باقیمانده ها به آن خطا حساس می باشند.

از شبیه سازی های بالا دیده می شود که رؤیتگرهای ورودی نامعلوم طراحی شده قادر به تشخیص خطای مقاوم سنسور نه تنها در حضور عامل غیرخطی در اغتشاش بلکه حتی در حضور تغییرات پارامتری ، صرف نظر از اندازه ی خطا می باشند.

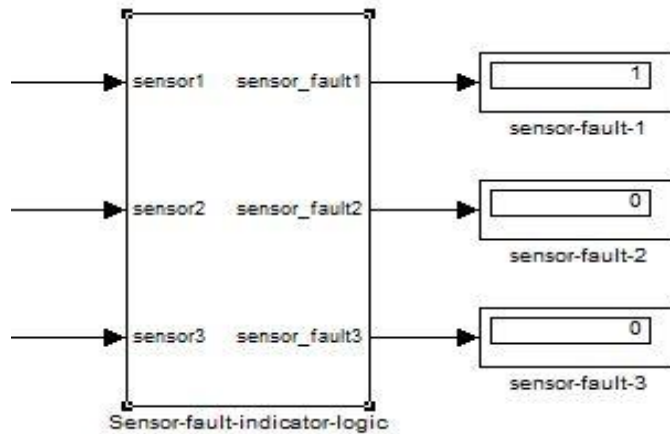
بعد از تشخیص موفقیت آمیز خطا نوبت ارزیابی سیگنال های باقیمانده است. یک سیستم منطقی نشانگر خطا طراحی می شود که نشان دهد کدام سنسور معیوب است. برای جداسازی خطای سنسور بررسی می کنیم که آیا باقیمانده ها از مقادیر آستانه ی از پیش تعریف شده تجاوز می کند یا نه. در طراحی،

تجاوز از آستانه با منطق 1 و خلاف آن با منطق 0 نشان داده می شود. برای مثال اگر یک خطا در سنسور ۱ رخ دهد، باقیمانده ی ۱ از مقدار آستانه تجاوز نمی کند و این نمایانگر منطق 0 است و دیگر باقیمانده ها از مقدار آستانه تجاوز می کنند که نشانگر منطق 1 می باشد. شکل (۳۳-۶) ساختار این سیستم منطقی را نشان می دهد.



شکل (۳۳-۶) سیستم منطقی نشانگر خطای سنسور ۱

در شکل (۳۴-۶) یک بلوک منطقی برای جایابی خطای سنسور مشاهده می شود. به عنوان نمونه می توان دید که پرچم خطای سنسور ۱ پس از وقوع خطا در آن سنسور فعال می شود.



شکل (۳۴-۶) بلوک منطقی نشانگر خطای سنسور، خطا در سنسور ۱ رخ داده است.

و به این ترتیب مشاهده می شود که تشخیص و جداسازی خطای مقاوم سنسور توسط رؤیتگرهای ورودی نامعلوم بهینه سازی شده، به صورت مقاوم و قابل اطمینان در حضور اغتشاشات غیر خطی و نیز عدم قطعیت مدلسازی قابل پیاده سازی می باشد.

### ۳-۶ طراحی رؤیتگر بهینه ی خطی برای معادلات حرکت سیستم غیر خطی

نتایج شبیه سازی با استفاده از مدل یک زیردریایی بدون سرنشین کوچک [۲۹]، در حضور خطای سنسور حاصل شده است. اگر سرعت آب قابل چشم پوشی باشد، حرکت افقی زیردریایی بوسیله ی یک مجموعه از معادلات ارائه می شود:

$$m_u \dot{u} = m_v v r - k_u u - k_{u|u} u |u| + F_u \quad (۱-۶)$$

$$m_v \dot{v} = -m_v u r - k_v v - k_{v|v} v |v| \quad (۲-۶)$$

$$I_z \dot{r} = -(m_v - m_u) u v - k_r r - k_{r|r} r |r| + M_z \quad (۳-۶)$$

$$\dot{\psi} = r \quad (۴-۶)$$

که در این معادلات  $m_u$ ،  $m_v$  و  $I_z$  به ترتیب، جرم در امتداد محور طولی و عرضی و اینرسی حول محور عمودی زیردریایی می باشند (با در نظر گرفتن عوامل اینرسی افزوده ی هیدرودینامیکی). بعلاوه  $u$  و  $v$  سرعت سرج و اسوی زیردریایی نسبت به آب در چارچوب مرجع بدنه-ثابت هستند.  $r$  نرخ چرخش یاو را نمایندگی می کند که به وسیله ی یک ژيروسکوپ نرخ یا سنسور نرخ به دست می آید و  $\psi$  زاویه ی هدایت را نمایندگی می کند که به وسیله ی یک قطب نما تعیین می شود.  $F_u$  و  $M_z$  نیروی سرج و گشتاور یاو می باشند. در این مثال پارامترها به صورت زیر تنظیم می شوند:

$$m_u = 350 \text{ kg}, k_u = 32 \frac{\text{kg}}{\text{s}}, k_{u|u} = 210 \frac{\text{kg}}{\text{m}}, m_v = 450 \text{ kg}, k_v = 70 \frac{\text{kg}}{\text{s}},$$

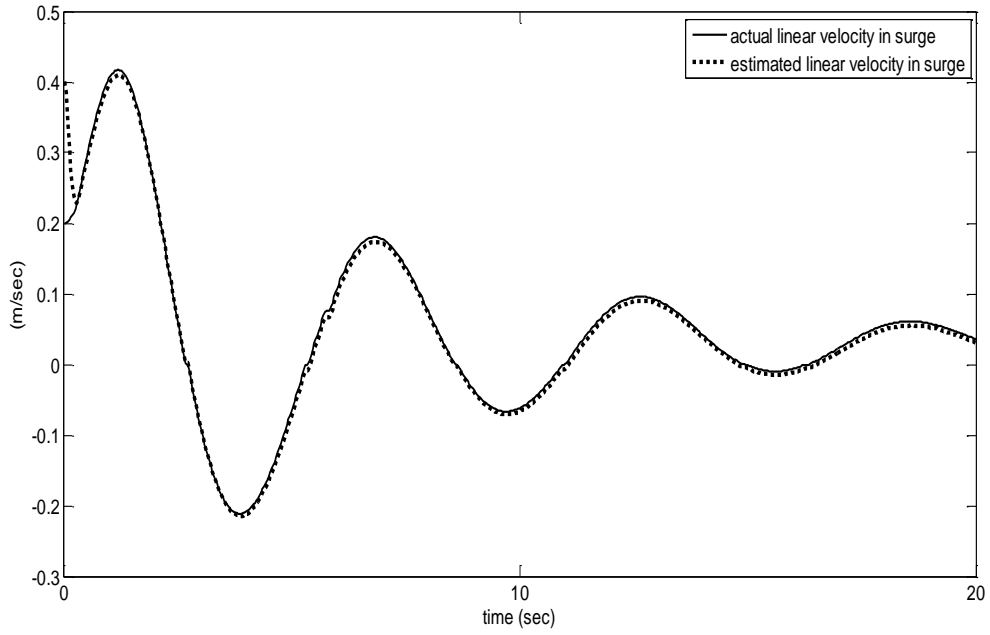
$$k_{v|v} = 450 \frac{\text{kg}}{\text{m}}, I_z = 52 \text{ kgm}^2, k_r = 10 \frac{\text{kgm}^2}{(\text{rad s})}, k_{r|r} = 70 \text{ kgm}^2/\text{rad}^2$$

با طراحی یک رؤیتگر ورودی نامعلوم بهینه برای سیستم فوق، ماتریس های  $F$  و  $K$  به این صورت تعیین می شوند:

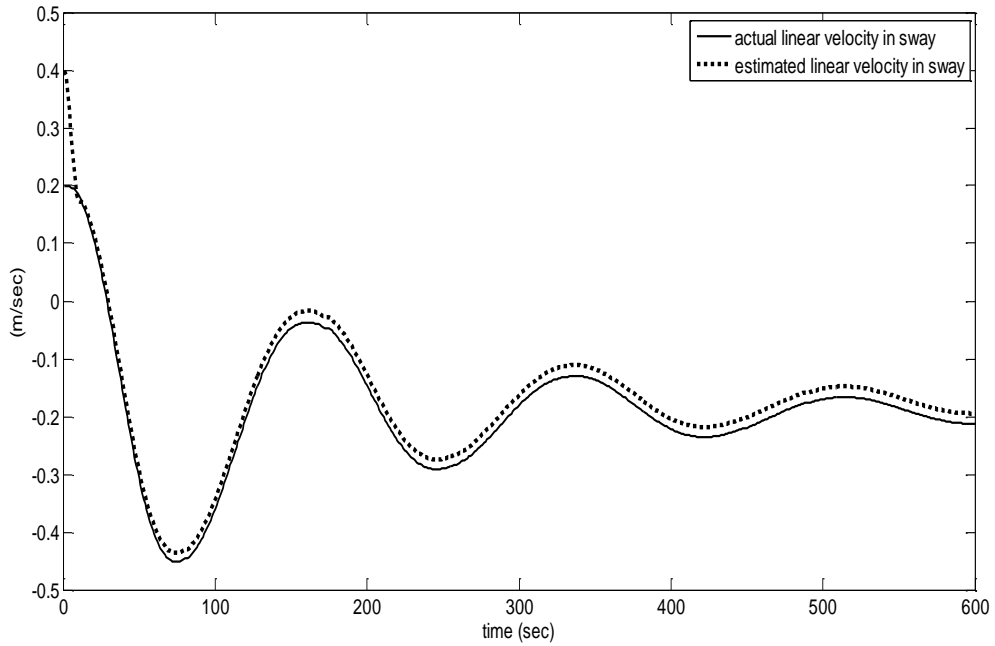
$$F = \begin{bmatrix} -40.7259 & -0.9375 & 0.3691 & 2.6132 \\ 0.9902 & -33.7426 & 13.7874 & -1.3334 \\ -4.1918 & -41.0009 & -5.7874 & -2.6785 \\ 5.7751 & -3.4667 & 5.4988 & -108.2320 \end{bmatrix},$$

$$K = \begin{bmatrix} 30.9871 & -8.6938 & -10.2413 & -12.2835 \\ -6.2165 & 28.3768 & -18.5404 & -3.9157 \\ -9.2000 & 27.6252 & -8.0215 & -10.7362 \\ -30.8584 & -21.6006 & -29.8070 & 83.1258 \end{bmatrix}$$

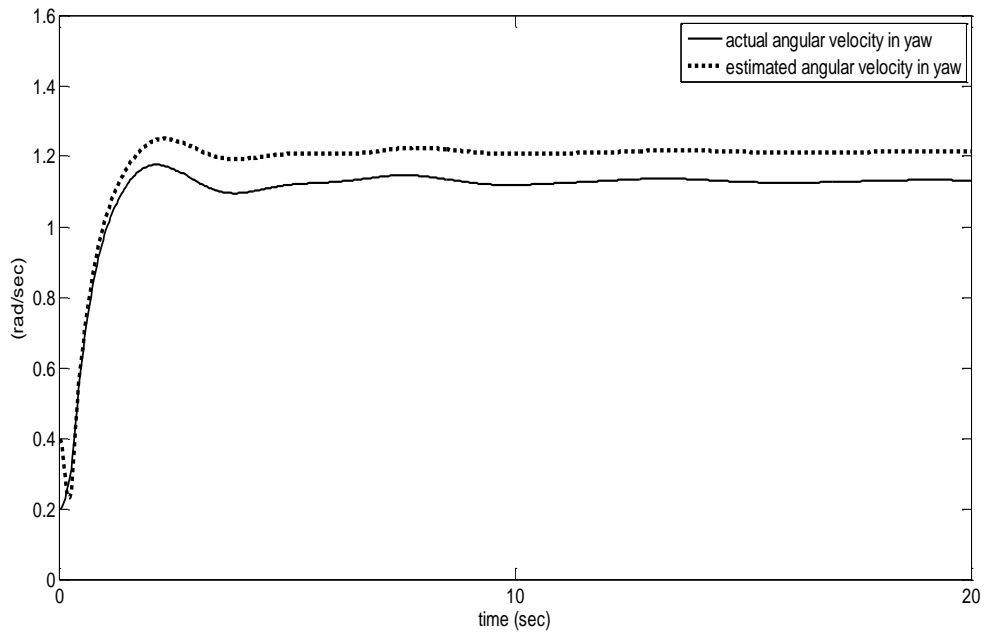
شکل های (۳۵-۶)، (۳۶-۶)، (۳۷-۶) و (۳۸-۶) تخمین حالتهای به دست آمده از سیستم غیرخطی توسط رؤیتگر بهینه ی خطی را نشان می دهند.



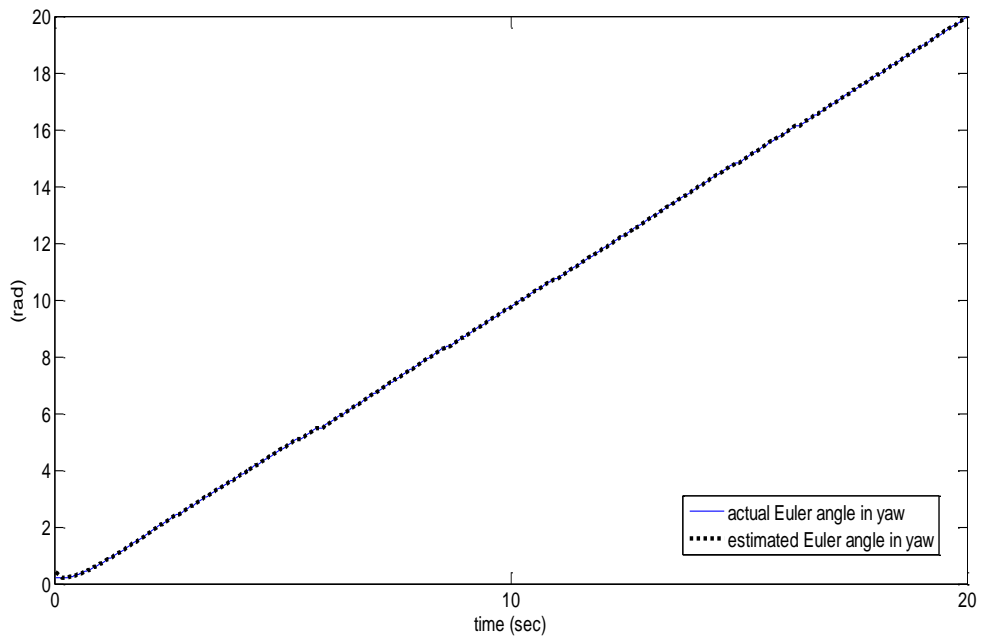
شکل (۳۵-۶) تخمین حالت  $u$  توسط رویتگر بهینه



شکل (۳۶-۶) تخمین حالت  $v$  توسط رویتگر بهینه



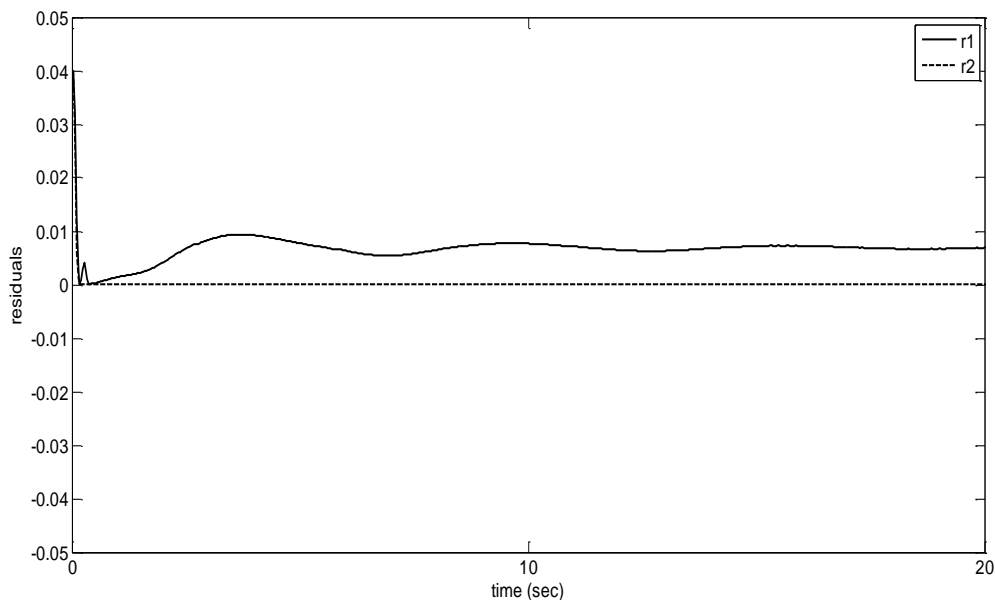
شکل (۳۷-۶) تخمین حالت  $\dot{\psi}$  توسط رؤیتگر بهینه



شکل (۳۸-۶) تخمین حالت  $\psi$  توسط رؤیتگر بهینه

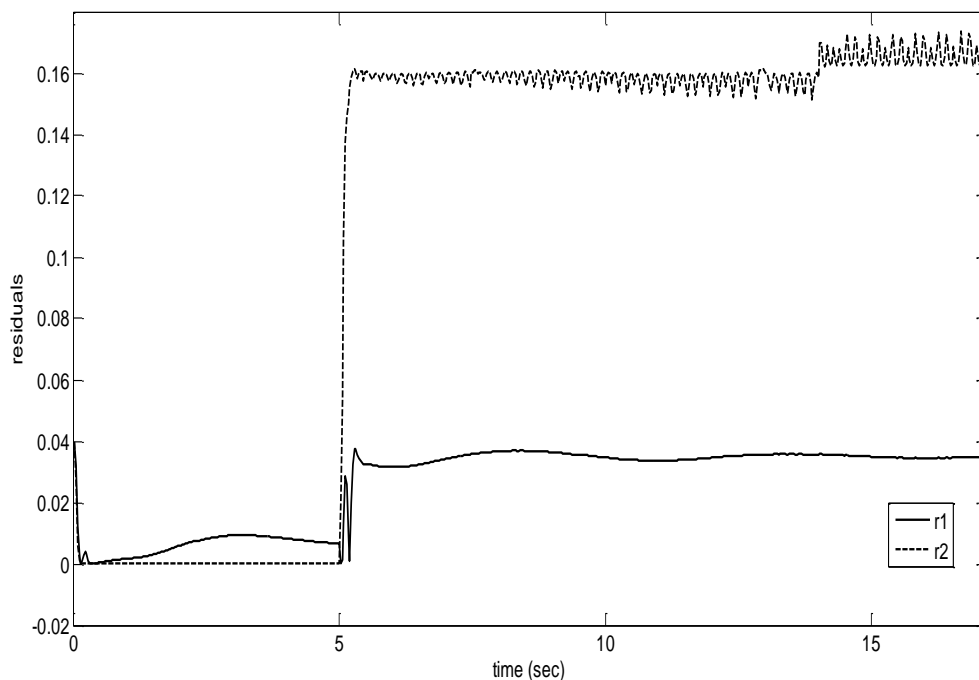


شکل (۶-۳۹) سیگنال های باقیمانده حاصل از خطای تخمین خروجی را نشان می دهد. باقیمانده های اول و دوم به ترتیب مربوط به اندازه گیری های انجام شده توسط ژيروسکوپ و قطب نما می باشند.



شکل (۶-۳۹) سیگنال های باقیمانده

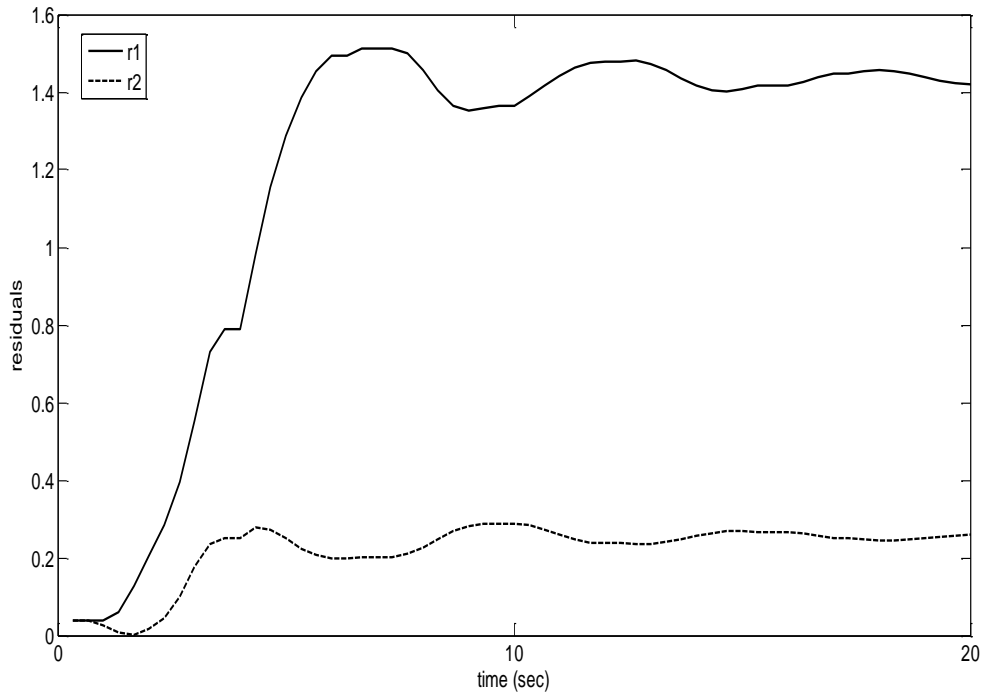
همانطور که مشاهده می شود، رویتگر ورودی نامعلوم بهینه ی طراحی شده نه تنها قادر به تخمین حالت های سیستم غیر خطی می باشد، بلکه قادر است باقیمانده های نزدیک به صفر نیز تولید کند. در ادامه فرض می کنیم که خطای سنسور در لحظه  $t > 5$  به سیستم وارد شود. در شکل (۶-۴۰) تأثیر خطای سنسور بر روی باقیمانده ها قابل مشاهده است.



شکل (۶-۴۰) سیگنال های باقیمانده در حضور خطای سنسور

هرچند سیگنال های باقیمانده تولید شده توسط رؤیتگر بهینه، تغییر چشمگیری را در حضور خطای سنسور ایجاد نمی کند، قابلیت این رؤیتگر در تشخیص خطا حتی برای سیستم های غیر خطی غیر قابل انکار است.

در اینجا، در طراحی رؤیتگر، عامل های غیر خطی موجود در معادلات حرکت را به عنوان اغتشاش و ورودی های نامعلوم فرض کردیم. لازم به ذکر است که یک رؤیتگر ورودی نامعلوم غیر بهینه، طراحی شده با روش های قراردادی، قادر به ارائه چنین نتایجی نمی باشد. شکل (۶-۴۱) سیگنال های باقیمانده تولید شده توسط یک رؤیتگر غیر بهینه را نشان می دهد.



شکل (۴۱-۶) باقیمانده های تولید شده توسط رژیتر غیر بهینه



## فصل ۷- نتیجه گیری و کارهای آینده



## ۷-۱ نتیجه گیری

هدف این پایان نامه طراحی رؤیتگر ورودی نامعلوم بهینه و استفاده از آن در تشخیص و جداسازی خطای مقاوم سنسور در زیردریایی بدون سرنشین است. معرفی مختصری از تشخیص و جداسازی خطا در ابتدا آمده است. سه ساختار رؤیتگر تشخیص خطا معرفی، ساختارهای تشخیص خطای مبتنی بر رؤیتگر پیاده-سازی و بر اهمیت مقاوم بودن تأکید شده است. موثر بودن تشخیص خطای مقاوم مبتنی بر رؤیتگر در تصاویر شبیه سازی شده نشان داده شده است. در این تحقیق مشاهده شد که طراحی رؤیتگر انتگرالی-نسبی، نسبت به دو رؤیتگر دیگر پیچیده تر و در عین حال دستیابی به تخمین حالت و اغتشاش مطلوب و باقیمانده های مقاوم به وسیله ی این رؤیتگر دشوارتر است. باقیمانده های تولید شده توسط رؤیتگر اغتشاش، در مقایسه با رؤیتگر ورودی نامعلوم نسبت به اغتشاش مقاوم تر است اما در برابر خطا حساسیت کمتری از خود نشان می دهد که مطلوب نیست.

برای طراحی یک ساختار مقاوم در جداسازی خطا، بانکی از رؤیتگرهای ورودی نامعلوم طراحی شده است. برای تولید باقیمانده های قابل اطمینان تر، الگوریتم بهینه سازی پرندگان در بهینه سازی رؤیتگر به کار گرفته شده و تفاوت قابل توجهی در میزان مقاوم بودن باقیمانده های تولید شده از این روش به دست آمده است. مشاهده شده است که روش ارائه شده در برابر عدم قطعیت های مدل و اغتشاش غیر خطی به صورت مقاوم عمل می کند.

یک رؤیتگر ورودی نامعلوم بهینه برای معادلات غیر خطی حرکت افقی زیردریایی طراحی و کارآمد بودن این رؤیتگر در تخمین حالت و تولید باقیمانده های نسبتاً مقاوم با نتایج شبیه سازی نشان داده شده است.

اگرچه قید ساختاری و شرایط وجود رؤیتگرهای ورودی نامعلوم، برای استفاده از این روش محدودیت ایجاد می کند اما یکی از مهمترین فواید روش رؤیتگر ورودی نامعلوم این است که ویژگی های مجزا-سازي به مد های خطا یعنی تکامل زمانی و اندازه ی خطاها و ورودی های نامعلوم بستگی ندارد.

## ۲-۷ پیشنهادات و کارهای آینده

تشخیص و جداسازی خطای مقاوم مبتنی بر انواع مختلف رؤیتگر برای سالهای طولانی مورد مطالعه قرار گرفته اند. اگرچه تعداد موارد کاربردی گزارش شده محدود است. مسأله ی اساس ماتریس توزیع اغتشاش است که برای طراحی رؤیتگرهای تشخیص خطا مورد نیاز می باشد. این ماتریس برای بسیاری از سیستم-های عملی ناشناخته است. برای اینکه این روش در کاربردهای صنعتی واقعی کاربرد بیشتری پیدا کند، مطالعات بیشتر برای تعیین و یا تقریب ماتریس توزیع اغتشاش مورد نیاز است.



- [1] Beard, R.V, (1971). “**Failure Accommodation in Linear Systems through Self Organization**”, Technical Report MVT-71-1, Man Vehicle Lab., Cambridge Mass
- [2] Gertler Janos (1995) “Diagnosing Parametric Faults: From Parameter Estimation to Parity Relations” **Proceedings of the American Control Conference**, Seattle, WA, pp. 1615-1620
- [3] Jafar Zarei, Javad Poshtan, (2011), “Sensor Fault Detection and Diagnosis of a Process Using Unknown Input Observer” **Mathematical and Computational Applications**, Vol. 16, No. 1, pp. 31-42
- [4] Rolf Iserman, (2006). “**Fault Diagnosis Systems, An Introduction from Fault Detection to Fault Tolerance**”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [5] Stengel R.F. (1991) “Intelligent Failure-Tolerant Control” **IEEE Control Systems**, pp 14-23
- [6] E. Sobhani-Tehrani, K. Khorasani, (2009). “**Fault Diagnosis of Nonlinear Systems Using a Hybrid Approach**”, Springer Science + Business Media LLC
- [7] Chow E. and Willsky A. (1984) “Analytical Redundancy and the Design of Robust Failure Detection Systems” **IEEE Trans, Automat. Contr**, Vol. 29, No. 7, pp 603-614
- [8] Venkatasubramanian V, Rengaswamy R, Yin K, Kavuri S N,(2003), “A Review of Process Fault Detection and Diagnosis Part I: Quantitative Model-based Methods”, Elsevier Science Ltd
- [9] Silvio Simani, Cesare Fantuzzi and Ron J.Patton, (2003) “Model-based Fault Diagnosis in Dynamic Systems Using Identification Techniques” **Elsevier, Computers and Chemical Engineering**, No.27, pp. 293-311

- [10] Zhang J., (2009), Master thesis, “Evaluation of observers Structures with application to fault detection”, Department of Electrical and Computer Engineering Iris Northeastern University
- [11] Shafai B., Pi C.T., Nork S. and Linder S.P. (2002) “Proportional Integral Adaptive Observer for Parameter and Disturbance Estimations” Proceedings of the 41th IEEE Conference on Decision and Control, Las Vegas, Nevada USA, pp. 4694-4699
- [12] Antonelli, (2006). Fault Detection/Tolerance Strategies for AUV’s and ROV’s, pp. 79-91, in: “**Underwater Robots**”, 2<sup>nd</sup> Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [13] ] Corradini M. , Monteriu A. and Orlando G. (2011) “An Actuator Failure Tolerant Control Scheme for Underwater Remotely Operated Vehicle”, **IEEE Transaction on Control Systems Technology**, Vol. 19, No. 5
- [14] Zhang M, Wu J, Wang Y, (2011), “Simultaneous Faults Detection and Location of Thrusters and Sensors for Autonomous Underwater Vehicle”, 4<sup>th</sup> International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation
- [15] Healey A.J. and Marco D.B. (1992) “A Neural Network Approach to Fault Diagnostics for Underwater Vehicles” Proceedings of IEEE Oceanic Engineering Society Symposium on Autonomous Underwater Vehicles, AUV 92, Washington D.C., pp. 131-135
- [16] Fliss I, Tagina M, (2010), “Multiple Faults Fuzzy Detection Approach Improved by Particle Swarm Optimization”, 8<sup>th</sup> International Conference of Modeling and Simulation (MOSIM)
- [17] Liu L., (2006), PhD. Thesis, “Robust fault detection and diagnosis for permanent magnet synchronous motors”, College of Engineering, Florida State University, USA
- [18] Isermann R. and Balle P. (1997) “Trends in the Application of Model based Fault Detection and Diagnosis of Technical Processes” **Control Engineering Practice**, vol. 5, no. 5, pp.709-719.

- [19] Hofling T. and Isermann R. (1995) "Parameter Estimation Triggered by Continuous Time Parity Equations" **Proceedings of American Control Conference**, Seattle, WA, pp. 1145-1146.
- [20] R. Patton, P. Frank, R. Clark, (1989)," **Fault Diagnosis in Dynamic Systems, Theory and Applications**", Prentice Hall
- [21] Bjorn Jalving, (1994), "The NDRE-AUV Flight Control System", **IEEE Journal of Oceanic Engineering** ,Vol. 19, No. 4, pp. 497-501.
- [22] G. Antonelli, T. I. Fossen, D. R. Yoerger, (2008)," **Underwater Robotics**", Springer Handbook of Robotics
- [23] Ni. L, (2001), PhD. Thesis, "Fault-Tolerant Control of Unmanned Underwater Vehicles", Virginia Polytechnic Institute and State University
- [24] Duan G. and Patton R. (1998) "Robust Fault Detection in Linear Systems Using LuenbergerObservers", **UKACC International Conference on Control '98**, pp. 1468-1473.
- [25] Linder S. P., Shafai B. and Saif M. (1998) "Estimating and Accommodating Unknown Actuator Faults with PI Observers", **Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Control Applications**, Trieste, Italy, pp. 461-465.
- [26] Mohammad Hossein Sobhani, Javad Poshtan, (2012), "Fault Detection and Isolation Using Unknown Input Observers with Structured Residual Generation", **International Journal of Instrumentation and Control Systems (IJICS)**, Vol.2, No.2
- [27] Kennedy J. and Eberhart R.(1995) "Particle Swarm Optimization," **Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks**, vol. 4, pp. 1942-1948, Perth, Australia
- [28] Hu X., Shi Y. and Eberhart R. (2004) "Recent advances in particle swarm" **IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2004)**, vol. 1, pp. 90–97.
- [29] Alessandri A. (2003) "Fault diagnosis for nonlinear systems using a bank of neural networks" **Computer in Industry**, pp. 271-289.

## **Abstract**

Unmanned Underwater Vehicles are widely used in commercial, scientific, and military missions for various purposes. What makes this technology challenging is the increasing mission duration and unknown environment. Underwater vehicles are equipped with a sensor system to accomplish the specific mission it has been commanded to complete. Faulty sensors may cause process performance degradation or fatal accidents. Therefore, it is essential that a fault detection scheme can be developed so as to be able to detect and identify possible faults in the system as early as possible.

In this dissertation, we study the observer-based fault detection and isolation problem for linear time-invariant dynamic systems with an emphasis on robustness. After introducing some basic definitions, the problem of model-based fault detection is introduced. This is followed by a summary of different approaches in generating diagnostic residual signals. Observer-based methods are further studied. Three observer structures are discussed, including Disturbance Observer, Unknown Input Observer and Proportional Integral Observer. Fault detection based on various observer structures is studied. The robustness issues are then defined in connection to fault detection.

An important focus is to isolate the effect of disturbance on residual signals for robust fault detection. In this dissertation we present a robust sensor fault detection and isolation scheme for an unmanned underwater vehicle (UUV). An unknown input observer (UIO) is designed for a linearized model of NPS UUV.

As an innovation in this field, we introduce a PSO approach to design of optimized UIOs. Simulation results are presented to demonstrate the effectiveness of proposed robust fault detection schemes.

**Key Words:** Robust Fault Detection and Isolation, Unmanned Underwater Vehicle-Unknown Input Observers- PSO.



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Electrical Engineering**

**Robust Fault Detection Using Unknown Input Observer**

**On an Unmanned Underwater Vehicle**

**Fahimeh Ghorbani Vashki**

**Supervisor: Dr. Mohammadali Sadrnia**

**Advisor: Dr. Mohammad Mehdi Fateh**

**Date: September 2013**