



**Islamic Azad University**  
**Isfahan (Khorasgan) Branch**  
Faculty of Engineering

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for  
The Degree of M.Sc in Computer Engineering - Software

Title

**Improving UAV autonomous landing on target  
using combination of FAST & SURF**

Supervisor

**Dr. Seyed AmirHassan Monadjemi**

By

**Ali Ahmadi**

September 2019

# **Improving UAV autonomous landing on target using combination of FAST & SURF**

## **Abstract**

UAVs are being one of the most interesting and useful topics during past years and it has high scientific value and high potential for military and discovery issues. Many research labs around the world have been developing their UAVs for military and civilian, surveillance, construction, rescue, exploration and etc. Also, UAV usage in many factories, hospitals, hotels and industrial area is growing. The challenging task among the AI is optimization of navigating UAV in the arbitrary environment including obstacle avoidance. In order to land on a platform, there are approaches like graph based and geometric estimation. Time complexity in geometric approaches would increase when the degree of freedom (DOF) is increasing. Thus geometric approaches are useful in less DOF systems. To obtain this purpose, using several approaches based on image processing, artificial intelligence and machine learning has recommended. So that these approaches generally are evaluated with the speed and precision of finding the objects. Therefor they will guarantee finding the best way of navigation and performing precision landing on landing platform. In this thesis, we've presented a novel method based on combination of FAST and SURF, which is an efficient solution in order to detect the object and performing the precision landing on it. First of all, we design the system and necessary equipment, then in order to reduce the color dimension and segmentation of the image, an algorithm is presented and developed. Finally, in order to perform object detection and autonomous precision landing, the combination of algorithms is introduced. According to the results from the simulation of the purposed solution and evaluations, the purposed solution has performed better than the similar solutions. In comparison with the fastest solution, which is ORB, the processing speed improved 16.8% and in comparison, with the most precise solution, which is SIFT, the processing speed improved 82.3%.

**Keywords:** UAV, Feature extraction, Feature matching, Autonomous landing control, Machine vision.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد اصفهان (خوراسگان)

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی کامپیوتر

گرایش نرم افزار

عنوان

**بهبود کنترل فرود خودکار پهپاد بر روی هدف**

**با استفاده از ترکیب الگوریتم های تطبیق الگو FAST و SURF**

استاد راهنما

دکتر سید امیر حسن منجمی

نگارنده

علی احمدی

شهریور ماه ۱۳۹۸



يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ

«قرآن کریم»

## تصویب نامه

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای علی احمدی

با عنوان: بهبود کنترل فرود خودکار پهپاد بر روی هدف با استفاده از ترکیب الگوریتم های تطبیق الگو

**FAST و SURF**

در جلسه مورخ ۱۳۹۸/۰۶/۳۰ تحت نظارت شورای پایان نامه متشکل از استادان زیر با نمره ۱۷/۶۷ مورد تأیید قرار گرفت.

امضاء

۱ - استاد راهنما: دکتر سید امیرحسین منجمی

امضاء

۲ - داور داخل گروه: دکتر فرساد زمانی

امضاء

۳ - داور خارج از گروه: دکتر کیوان محبی

دکتر مجید طغیانی

معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی

واحد اصفهان (خوراسگان)

تاریخ ..... امضاء .....

## تعهد نامه اصالت رساله یا پایان نامه

اینجانب **علی احمدی** دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش نرم افزار که در تاریخ ۱۳۹۸/۰۶/۳۰ از پایان نامه خود تحت عنوان: **بهبود کنترل فرود خودکار پهپاد بر روی هدف با استفاده از ترکیب الگوریتم های تطبیق الگو FAST و SURF** با کسب نمره ۱۷/۶۷ دفاع نموده ام بدینوسیله متعهد می شوم:

(۱) این پایان نامه / رساله حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران ( اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و.....) استفاده نموده ام، مطابق ضوابط و رویه موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست مربوطه ذکر و درج کرده ام.

(۲) این پایان نامه / رساله قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی ( هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه ها و مؤسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

(۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ، ثبت اختراع و..... از این پایان نامه داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوز های مربوطه را اخذ نمایم.

(۴) چنانچه در هر مقطعی زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را می پذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

علی احمدی

تاریخ و امضاء

تقدیم بہ:

مقدس ترین واژه مادر لغت نامہ زندگی ام:

اوی کہ ناتوان شد تا بہ توانایی برسم ...

مویش سپید شد تا روسفید شوم ...

و عاشقانہ سوخت تا کرمابخش وجودم و روسنگر راہم باشد ...

پدرم

مادرم

استادم

# پاسنگزاری

پروردگارا مریاری کن تا دانش اندکم نه نزدبانی باشد برای فزونی و تکبر و غرور، نه حلقه‌ای برای اسارت و نه دستبندی برای تجارت، بلکه گامی باشد برای تجلیل از تو و تعالی ساختن زندگی خود و دیگران.

قبل از هر چیز، خداوند بزرگ را به خاطر لطفی که همواره شامل حال من نموده شاکرم. سپس، از زحمات استاد محترم راهنا، جناب آقای دکتر سید امیر حسن منجی که نه تنها به عنوان استاد بلکه همچون همکاری در تمام مراحل انجام این تحقیق از رهنمودها و کمک‌های بی‌دینگی ایشان بهره‌مند شده‌ام، تشکر و قدردانی می‌کنم.



## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۲	فصل اول کلیات پژوهش
۲	۱-۱- مقدمه .....
۳	۲-۱- بیان مسئله اساسی تحقیق .....
۳	۱-۲-۱- تشریح ابعاد و حدود مسئله تحقیق .....
۴	۱-۲-۳- منظور از پژوهش .....
۴	۱-۲-۴- بیان جنبه‌های مجهول .....
۴	۱-۳- اهمیت موضوع تحقیق و ضرورت انجام آن .....
۵	۱-۴- جنبه‌ی جدید بودن و نوآوری در پژوهش .....
۵	۱-۵- اهداف پژوهش .....
۶	۱-۶- سوالات پژوهش .....
۶	۱-۷- فرضیات پژوهش .....
۶	۱-۸- محدودیتها و پیشفرضهای پژوهش .....
۷	۱-۹- متغیرهای پژوهش .....
۸	۱-۱۰- تعاریف واژه‌ها و اصطلاحات فنی .....
۹	۱-۱۱- مروری بر ساختار پایاننامه .....
۱۰	فصل دوم مروری بر ادبیات و پیشینه تحقیق
۱۰	۱-۲- مقدمه .....
۱۰	۲-۲- ادبیات پژوهش .....
۱۱	۲-۲-۱- سیستمهای بال ثابت .....
۱۱	۲-۲-۲- مولتی روتورها .....
۱۲	۲-۲-۳- سیستمهای دیگر .....
۱۳	۲-۲-۴- تشخیص و تعقیب اشیاء .....
۱۴	۲-۲-۵- معرفی سیستم بینایی ماشین .....
۱۵	۲-۲-۶- روشهای پرکاربرد جهت تشخیص اشیاء .....
۲۲	۲-۲-۷- راهکارهای فرود خودکار .....
۲۳	۲-۲-۸- معیارهای اساسی در ترکیب الگوریتم‌های شناساگر ویژگی .....
۳۴	۲-۳- پیشینه تحقیق .....

۴-۲- جمع بندی ..... ۴۴

## فصل سوم معرفی و ارائه روش پیشنهادی ..... ۴۵

۱-۳- مقدمه ..... ۴۵

۲-۳- ضرورت اساسی در ارائه راهکار پیشنهادی ..... ۴۶

۳-۳- چارچوب راهکار پیشنهادی ..... ۴۷

۱-۳-۳- آموزش شکل هدف و تعاریف اولیه ..... ۴۹

۲-۳-۳- تشخیص صحیح و سریع هدف توسط الگوریتم پیشنهادی ..... ۵۰

۳-۳-۳- عملیات فرود خودکار توسط کنترل کننده ..... ۵۴

۴-۳- جمع بندی ..... ۵۶

## فصل چهارم شبیه سازی و ارزیابی ها ..... ۵۷

۱-۴- مقدمه ..... ۵۷

۲-۴- توسعه روش پیشنهادی و شبیه سازی ..... ۵۷

۳-۴- ارزیابی نتایج شبیه سازی و تحلیل نتایج ..... ۶۰

۱-۳-۴- مجموعه داده ..... ۶۰

۲-۳-۴- معیارهای ارزیابی دقت و بازخوانی و امتیاز F1 ..... ۶۰

۳-۳-۴- شناساگر Hessian و توصیف گر SIFT ..... ۶۴

۴-۳-۴- شناساگر Hessian و توصیف گر SURF ..... ۶۷

۵-۳-۴- شناساگر AGAST و توصیف گر BRISK ..... ۷۰

۶-۳-۴- شناساگر FAST و توصیف گر ORB ..... ۷۳

۷-۳-۴- شناساگر FAST و توصیف گر SURF (راهکار پیشنهادی این پژوهش) ..... ۷۶

۴-۴- مقایسه کلی و نتیجه گیری ..... ۷۹

۵-۴- جمع بندی ..... ۸۲

## فصل پنجم نتیجه گیری و کارهای آینده ..... ۸۳

۱-۵- نتیجه گیری ..... ۸۳

۲-۵- اثبات فرضیات پژوهش ..... ۸۴

۳-۵- کارهای آینده ..... ۸۵

مراجع ..... ۸۶

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- متغیرهای پژوهش .....	۷
جدول ۲-۱- تعاریف واژه‌ها و اصطلاحات فنی .....	۸
جدول ۲-۲- شناساگرهای ویژگی متداول و دسته بندیهای آنها .....	۲۵
جدول ۱-۲- جمع بندی پژوهش های بررسی شده .....	۴۳
جدول ۱-۳- نتایج مقایسه جفت شناساگر/توصیف گر های متداول .....	۵۳
جدول ۱-۴- مشخصات محیط شبیه سازی و ابزارهای مورد نیاز .....	۵۹
جدول ۲-۴- ماتریس درهم ریختگی .....	۶۱
جدول ۳-۴- نتایج حالت اول ترکیب Hessian / SIFT .....	۶۴
جدول ۴-۴- نتایج حالت دوم ترکیب Hessian / SIFT .....	۶۴
جدول ۵-۴- نتایج حالت سوم ترکیب Hessian / SIFT .....	۶۵
جدول ۶-۴- نتایج حالت چهارم ترکیب Hessian / SIFT .....	۶۵
جدول ۷-۴- نتایج حالت اول ترکیب Hessian / SURF .....	۶۷
جدول ۸-۴- نتایج حالت دوم ترکیب Hessian / SURF .....	۶۷
جدول ۹-۴- نتایج حالت سوم ترکیب Hessian / SURF .....	۶۸
جدول ۱۰-۴- نتایج حالت چهارم ترکیب Hessian / SURF .....	۶۸
جدول ۱۱-۴- نتایج حالت اول ترکیب AGAST / BRISK .....	۷۰
جدول ۱۲-۴- نتایج حالت چهارم ترکیب AGAST / BRISK .....	۷۰
جدول ۱۳-۴- نتایج حالت سوم ترکیب AGAST / BRISK .....	۷۱
جدول ۱۴-۴- نتایج حالت چهارم ترکیب AGAST / BRISK .....	۷۱
جدول ۱۵-۴- نتایج حالت چهارم ترکیب FAST / ORB .....	۷۳
جدول ۱۶-۴- نتایج حالت چهارم ترکیب FAST / ORB .....	۷۳
جدول ۱۷-۴- نتایج حالت چهارم ترکیب FAST / ORB .....	۷۴
جدول ۱۸-۴- نتایج حالت چهارم ترکیب FAST / ORB .....	۷۴
جدول ۱۹-۴- نتایج حالت اول ترکیب FAST / SURF .....	۷۶
جدول ۲۰-۴- نتایج حالت دوم ترکیب FAST / SURF .....	۷۶
جدول ۲۱-۴- نتایج حالت سوم ترکیب FAST / SURF .....	۷۷
جدول ۲۲-۴- نتایج حالت چهارم ترکیب FAST / SURF .....	۷۷
جدول ۲۳-۴- مقایسه نتایج کلی ۵ ترکیب .....	۷۹
جدول ۲۴-۴- بهبود سرعت پردازش نسبت به ترکیب های دیگر .....	۷۹

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۱۱	شکل ۱-۲- پرنده بدون سرنشین PARROT DISCO
۱۲	شکل ۲-۲- ربات تجاری فانتوم ساخت شرکت DJI
۱۳	شکل ۳-۲- پرنده HQ-40 ساخت شرکت LATITUDE
۱۳	شکل ۴-۲- پهپاد SingleCopter
۱۳	شکل ۵-۲- Delfly Explorer
۱۴	شکل ۶-۲- سیستم تشخیص اشیاء
۱۵	شکل ۷-۲- هرم تصویری
۱۶	شکل ۸-۲- خروجی الگوریتم تشخیص و فیلترکردن رنگ
۱۷	شکل ۹-۲- نمایش ویژگی‌های یافت شده تصویر و تطابق صحیح ویژگی‌های دو تصویر
۱۸	شکل ۱۰-۲- یک سیستم کنترل کننده فرود عمومی
۲۰	شکل ۱۱-۲- بلوک دیاگرام فرود دقیق خودکار
۲۱	شکل ۱۲-۲- میدان دید دوربین پهپاد
۲۳	شکل ۱۳-۲- انواع ویژگی در بینایی ماشین
۲۵	شکل ۱۴-۲- فلوجارت عملیات تشخیص شی
۲۷	شکل ۱۵-۲- نمایش فضا مقیاس $Lx, y; t$ تصویر $f$ در مقایسه‌های متفاوت
۲۸	شکل ۱۶-۲- چهار مرحله کانولوشن گاوسی
۲۸	شکل ۱۷-۲- نمایش هرم تصویری
۲۹	شکل ۱۸-۲- نمایش دیاگرام الگوریتم SIFT با استفاده از هرم ۶ لایه
۲۹	شکل ۱۹-۲- فلوجارت عملیاتی الگوریتم SIFT
۳۰	شکل ۲۰-۲- تخمین لاپلاس گاوسی با فیلتر جعبه ای
۳۰	شکل ۲۱-۲- فلوجارت عملیاتی الگوریتم SURF
۳۱	شکل ۲۲-۲- نمایش ۱۶ پیکسل همجوار الگوریتم FAST
۳۱	شکل ۲۳-۲- فلوجارت عملیاتی الگوریتم FAST
۳۳	شکل ۲۴-۲- فلوجارت عملیاتی الگوریتم ORB
۳۴	شکل ۲۵-۲- فلوجارت عملیاتی الگوریتم BRISK
۳۵	شکل ۲۶-۲- نشانگر محل فرود با استفاده از ترکیب دایره های مشکی و سفید
۳۶	شکل ۲۷-۲- تصویر هدف H در راست و تخمین مسیر توسط الگوریتم مسیریابی و فیلتر کالمن در چپ
۳۷	شکل ۲۸-۲- کلاه بهمراه LED مادون قرمز
۳۷	شکل ۲۹-۲- تعقیب محل فرود متحرک رنگی
۳۸	شکل ۳۰-۲- فلوجارت روش پیشنهادی توسط Zhao و همکارش و تشخیص H توسط Camshift

- شکل ۲-۳۱ - استفاده از نشانگرهای ArUco به منظور تخمین موقعیت نسبی پهپاد..... ۳۹
- شکل ۲-۳۲ - استفاده از ربات زمینی به همراه نشانگر به منظور تخمین موقعیت پهپاد و مسیریابی..... ۳۹
- شکل ۲-۳۳ - استفاده از ترکیب نشانگرهای ArUco ..... ۴۰
- شکل ۲-۳۴ - استفاده از ترکیب رنگ و شکل در تشخیص هدف ..... ۴۰
- شکل ۲-۳۵ - قرارگیری قایق نسبت به زمین ..... ۴۱
- شکل ۳-۱ - بلوک دیاگرام استخراج و تشخیص هدف ..... ۴۸
- شکل ۳-۲ - شکل هدف مورد نظر ..... ۴۹
- شکل ۳-۳ - شمای کنترل‌کننده PID ..... ۵۵
- شکل ۴-۱ - شبیه سازی ربات در Gazebo ..... ۵۹
- شکل ۴-۲ - نمونه‌ای از تطبیق ۵ ترکیب ..... ۶۳
- شکل ۴-۳ - جمع‌بندی کلی ترکیب Hessian / SIFT ..... ۶۶
- شکل ۴-۴ - جمع‌بندی کلی ترکیب Hessian / SURF ..... ۶۹
- شکل ۴-۵ - جمع‌بندی کلی ترکیب AGAST / BRISK ..... ۷۲
- شکل ۴-۶ - جمع‌بندی کلی ترکیب FAST / ORB ..... ۷۵
- شکل ۴-۷ - جمع‌بندی کلی ترکیب FAST / SURF ..... ۷۸
- شکل ۴-۸ - جمع‌بندی کلی ۵ ترکیب ..... ۸۰
- شکل ۴-۹ - زمان سپری شده برای انجام عملیات فرود بر حسب ثانیه ..... ۸۱

## چکیده

پهپادها یکی از موضوعات تحقیقاتی جذاب و پرکاربرد در سال‌های اخیر در جهان بوده است و پتانسیل تحقیقاتی بالایی در زمینه‌های نظامی و غیرنظامی را دارا می‌باشد. گروه‌های تحقیقاتی بسیاری در مراکز معتبر علمی تحقیقاتی تا به حال پهپاد خودشان را برای مقاصد نظامی، امداد و نجات، عمرانی، واریسی مناطق آلوده و غیره طراحی نموده‌اند. امروزه استفاده از پهپادهای خودکار در بسیاری از مکان‌ها از جمله کارخانجات، بیمارستان‌ها، هتل‌ها و مراکز صنعتی در راستای انجام بسیاری از موارد خدماتی و عملیاتی به سرعت رو به رشد می‌باشد. موضوعی که همواره در زمینه رباتیک و هوش مصنوعی مطرح بوده است، یافتن مسیر بهینه برای رسیدن به مقصد در فضایی با موانع مختلف می‌باشد. همچنین به منظور انجام عملیات فرود خودکار در محل از پیش آموزش داده شده، راهکارهای مختلفی از جمله استفاده از روش‌های مبتنی بر گراف و یا تخمین‌های هندسی که بیشتر بر اساس اصول هندسی عمل می‌کنند، وجود دارد. پیچیدگی زمانی راه‌های حل‌های هندسی همراه با میزان آزادی حرکت ربات افزایش می‌یابد، بنابراین راه‌های حل‌های هندسی عموماً وقتی عملی هستند که درجه آزادی ربات پائین باشد. این واقعیت منجر به بروز راهکارهای اکتشافی متعددی مبتنی بر پردازش تصویر، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین شده است که این راهکارها عموماً با قابلیت سرعت و دقت پیدا کردن هدف مشخص سنجیده می‌شوند، در نتیجه یافتن راه حل مناسب برای رسیدن به هدف و انجام عملیات فرود دقیق خودکار بر روی هدف مشخص را ضمانت می‌کند. در این تحقیق تلاش شده است با ارائه روشی جدید، مبتنی بر ترکیب الگوریتم‌های استخراج ویژگی FAST و SURF راه حلی مناسب در جهت بهبود تشخیص هدف و انجام عملیات فرود خودکار پهپادها بر روی هدف مشخص ارائه شود. در ابتدا به طراحی سیستم و تجهیزات مورد نیاز برای این امر پرداخته و سپس الگوریتمی در جهت کاهش رنگ تصاویر به منظور بخش بندی ارائه و پیاده سازی شده است، سرانجام به ارائه الگوریتمی در راستای تشخیص هدف و انجام عملیات فرود دقیق خودکار پرداخته خواهد شد. طبق ارزیابی‌های انجام پذیرفته شده و نتایج شبیه‌سازی استفاده از راهکار ارائه شده در این پژوهش حاکی از بهبود عملکرد آن نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد. در مقایسه با سریع‌ترین ترکیب در زمینه‌های مشابه که ORB می‌باشد، سرعت پردازشی راهکار پیشنهادی ۱۶/۸ درصد بهبود حاصل شده و همچنین در مقایسه با دقیق‌ترین ترکیب در زمینه‌های مشابه که SIFT می‌باشد، سرعت پردازشی راهکار پیشنهادی ۸۲/۳ درصد بهبود حاصل شده است.

**کلمات کلیدی:** پرنده‌های بدون سرنشین، استخراج ویژگی، تطبیق ویژگی، کنترل فرود پهپاد، بینایی ماشین

## فصل اول

### کلیات پژوهش

#### ۱-۱- مقدمه

استفاده از پهپادها در سال‌های اخیر دارای رشد زیادی بوده است. این پهپادها در ابتدا توسط نیروهای نظامی استفاده می‌شدند و امروزه در کاربردهای غیرنظامی جای خود را پیدا کردند و دارای دامنه کاربردی شامل کشاورزی، نقشه برداری سه بعدی، عملیات امداد و نجات و حتی در سینما، می‌باشد.

این نوع پهپادها قابلیت کنترل توسط خلبان یا پرواز خودکار توسط GPS در مکانهای باز را دارند و جهت انجام مانورهای هوایی پیچیده، پرواز خودکار، شناسایی مصدومان، بازرسی و نقشه برداری در مکانهای بسته، به کار می‌روند در بعضی مأموریت‌ها، نیاز به یافتن یک جسم مشخص در یک محیط نا ایمن برای انسانها و یا یافتن یک مصدوم در عملیات نجات تنها به کمک اپراتور ممکن نیست، این مسئله ما را بر این داشت که با استفاده از پردازش تصویر بر روی پرنده، بتوانیم جسم مطلوب را بیابیم. خطای انسانی کمتر، سرعت عمل بیشتر، عملیات خودکار، امکان استفاده از چندین ربات همزمان بدون نیاز به نیروی انسانی بیشتر و... بر اهمیت خودکار سازی عملکرد این نوع ربات‌ها می‌افزاید. در دهه‌های اخیر فرود پهپادها یکی از مسائل چالش بر انگیز به شمار می‌رود. از این رو بدلیل ریسک بالا در زمان فرود خلبان‌ها ساعات زیادی را صرف تمرین برای فرود پهپاد می‌کنند. توسعه روش‌های فرود خودکار پهپادها در دهه‌های اخیر یکی از فعال‌ترین زمینه‌های تحقیق برای پژوهشگران بسیاری بوده است. در این فصل به بررسی پژوهش‌ها و روش‌های پیشین و مرتبط با پژوهش پیش رو پرداخته خواهد شد. به جهت بررسی شایسته در این ارتباط، مفاهیمی به تفصیل در حوزه پهپادها و روش‌های بکارگرفته شده تشخیص شئی در پژوهش‌های پیشین و

همچنین روش های پیشنهادی در این رابطه ارائه خواهد گردید. هدف از این نقد و بررسی ها، شناسایی و تحلیل حیطه پژوهشی؛ و همچنین بررسی جوانب موضوع پژوهشی به منظور فراهم سازی مقدمات مورد نیاز در راستای ارائه روشی هدفمند می باشد.

## ۱-۲- بیان مسئله اساسی تحقیق

در این بخش از فصل پیش رو به بررسی مسئله اساسی تحقیق یعنی ترکیب الگوریتم های FAST و SURF به همراه ذکر جزئیات مربوطه پرداخته خواهد شد. بدین منظور در ابتدا ابعاد و حدود پژوهش ذکر و معرفی خواهد گردید و در ادامه بیان دقیقی از مسئله پژوهشی به همراه جزئیات مربوطه ارائه خواهد شد. سپس منظور از پژوهش و در انتها کلیاتی از راه کار پیشنهادی مورد نقد و بررسی قرار خواهد گرفت. در این پژوهش با استفاده از ترکیب الگوریتم های FAST و SURF روش پیشنهادی را ارائه خواهیم داد که به نظر می رسد از روش های پیشین بهینه تر باشد. همچنین به منظور افزایش سرعت پردازش از پیش پردازش هایی قبل از پردازش اصلی استفاده خواهد شد و پردازش های اضافی حذف خواهند گردید.

### ۱-۲-۱- تشریح ابعاد و حدود مسئله تحقیق

آنچه در تحقیق پیش رو به عنوان ابعاد و حدود مسئله مورد توجه پژوهش گر است، الگوریتم های شناسایی، استخراج و تطبیق ویژگی می باشد. الگوریتم های شناسایی ویژگی دسته ای از الگوریتم ها هستند که در آنها ویژگی های تصویر مانند لبه، گوشه و ناحیه شناسایی خواهند شد. این ویژگی ها در اختیار الگوریتم های استخراج ویژگی قرار خواهند گرفت و توصیف هایی از آن ها استخراج خواهد شد. الگوریتم های استخراج کننده ویژگی دسته ای الگوریتم هایی هستند که ویژگی ها شناسایی شده، توسط الگوریتم شناسایی ویژگی، را تحلیل و مورد ارزیابی قرار خواهند داد. سپس بردارهایی از آنها ایجاد خواهد کرد که این بردارها صفات ویژگی های متناظر خود را توصیف خواهند کرد. الگوریتم هایی به منظور تطبیق این توصیف ها ایجاد شده اند که به آنها الگوریتم های تطبیق ویژگی گفته می شود. این الگوریتم ها در نهایت مدل برداری ایجاد شده از ویژگی ها توسط دو الگوریتم شناساگر و توصیف کننده را مورد تطبیق قرار خواهند داد و در نهایت ویژگی های مشابه از لحاظ فاصله و اندازه را در دسته های جداگانه دسته بندی خواهند کرد. و در نهایت موقعیت شیء یافته شده در تصویر قابل محاسبه خواهد بود. از بارزترین چالش های الگوریتم های شناسایی و استخراج ویژگی، غلبه بر تغییرات مقیاس، دوران، روشنائی، کشیدگی و چولگی می باشند.

در این پژوهش مرحله پیش پردازش به این الگوریتم ها اضافه شده است. به این صورت که قبل از اینکه کل نواحی تصویر مورد پردازش قرار بگیرد، نواحی با استعداد بیشتر و کاندید برای یافتن هدف در تصویر هستند از تصویر استخراج خواهند شد و سپس در الگوریتم های شناساگر این نواحی محدود خواهند شد و از این رو باعث بهبود سرعت عملکرد پردازش خواهد گردید.



### ۱-۲-۳- منظور از پژوهش

در پژوهش پیش‌رو برای دستیابی به آنچه که به عنوان استخراج ویژگی و تشخیص هدف بیان گردید و در جهت بهبود سرعت پردازش و همچنین سرعت فرود پهپاد، قصد بر این است که راه‌کاری کارآمد با استفاده از ترکیب الگوریتم‌های استخراج و شناسایی ویژگی به منظور تشخیص سریع و صحیح هدف در تصویر ارائه داده تا از نتیجه این تشخیص در یک فرایند فرود خودکار بهره برد. در همین راستا تلاش بر استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر و تطبیق ویژگی و همچنین مراحل پیش‌پردازش به منظور اجتناب از پردازش نواحی اضافه و سرعت بخشیدن به عملیات پردازش و تشخیص در قالب یک ترکیب جدید خواهد بود. به نحوی که در ادامه استفاده از ترکیب‌های مختلف در راستای اجرای عملیات فرود پهپاد اعمال شده تا بهترین ترکیب، با کم‌ترین تأخیر در شناسایی و بیشترین دقت تشخیص، شناسایی گردد. به همین جهت می‌توان با استفاده از خصوصیات و پیکره‌بندی‌های متخلف هر الگوریتم و انتخاب نواحی کاندید با استعداد بالا، در راستای ارائه یک پژوهشی مطلوب به منظور شناسایی صحیح و سریع هدف بهره برد.

### ۱-۲-۴- بیان جنبه‌های مجهول

با توجه به ماهیت این پژوهش انتخاب صحیح استفاده از الگوریتم‌های شناسایی و استخراج ویژگی و ترکیب آنها، و همچنین انتخاب الگوریتم‌های مطابقت دهنده سریع، و تشخیص نواحی مستعد برای پردازش از جنبه‌های مجهول در پژوهش پیش‌رو به شمار می‌روند. منظور از انتخاب، بهره‌بری از الگوریتم کارآمد و با دقت در زمینه استخراج ویژگی و همچنین انتخاب الگوریتم کارآمد و سریع تطبیق دهنده می‌باشد. در راستای کنترل مکانیکی پهپاد، انتخاب الگوریتم کنترل‌کننده و همچنین مسیریابی نیز از جنبه‌های مجهول به شمار می‌رود.

### ۱-۳- اهمیت موضوع تحقیق و ضرورت انجام آن

از آنجایی که در راستای کنترل پهپاد در نقاط دوردست و به خصوص در زمان بروز حوادث غیرمترقبه محدودیت‌هایی وجود دارد و کنترل پهپاد از فاصله دور امری مشکل و در مواردی غیرقابل انجام می‌باشد، ضرورت ایجاد سیستم کنترلی خودمختار بر مبنای پردازش تصویر برای انجام عملیات‌های امداد و نجات و تحویل بسته‌های امدادی به وضوح غیر قابل انکار می‌باشد.

موارد زیر شامل کاربردهای این پژوهش به شمار می‌روند:

- استفاده در حوادث غیر مترقبه توسط هلال احمر جهت شناسایی مصدومان و حمل بسته‌های امدادی
- انجام عملیات بازرسی در صنایع مختلف و بازرسی جاده‌ها توسط نیروی انتظامی
- نقشه برداری هوایی در مزارع و ... در کاربردهای وزارت جهاد کشاورزی

## ۱-۴- جنبه‌ی جدید بودن و نوآوری در پژوهش

در این پژوهش، قصد بر آن است که با استفاده از ترکیب روش‌های ارائه شده در حوزه استخراج ویژگی و مطابقت آن‌ها، روش کارآمد در جهت افزایش سرعت و دقت تشخیص در پردازش تصویر و در راستای کنترل فرود پهپاد، ارائه نمود. در نتیجه بعنوان نوآوری در این تحقیق، استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر بر روی پهپادها و ترکیب الگوریتم‌های استخراج و تطبیق ویژگی به منظور شناسایی بهتر، امکان شناسایی اهداف و اجسام را میسر می‌سازد. همچنین با استفاده از خصوصیات و ویژگی‌های هدف، تمامی اشیائی که از لحاظ ابعاد و پس‌زمینه و اندازه به نسبت ارتفاع پهپاد قابل قبول می‌باشند بعنوان نواحی کاندید انتخاب می‌شوند. به منظور غلبه بر مشکلات مقیاس متفاوت، پس از تخمین زدن اندازه هدف، تصویر ورودی به اندازه تصویر تخمین زده شده تغییر اندازه خواهد داد. این امر باعث دستیابی به نقاط دوردست خواهد شد که امکان کنترل برای اپراتور نمی‌باشد. با توجه به اینکه استفاده از GPS برای مسیریابی همواره دارای خطا (تقریباً یک متر) می‌باشد و در حالت ساکن این خطا بیشتر نیز خواهد شد و همچنین در شرایط مختلف ممکن است خطای GPS بیشتر نیز شود، استفاده از بینایی ماشین در عملیات فرود خودکار پهپاد نقش بسزایی را می‌تواند ایفا کند. ازین رو در این پژوهش سعی بر آن شده است که خطای سخت افزاری GPS را با استفاده از الگوریتم‌های تطبیق الگو و بینایی ماشین به حداقل رسانده و عملیات فرود دقیق خودکار را با دقت بالا پیاده سازی کرد.

## ۱-۵- اهداف پژوهش

### هدف اصلی

✓ پهپاد بتواند محل فرود را با استفاده از پردازش تصویر و ترکیب الگوریتم‌های استخراج ویژگی FAST و SURF تشخیص دهد و عملیات فرود روی محل فرود را بصورت دقیق انجام دهد.

### اهداف فرعی

✓ بهبود عملکرد عملیات کنترل پهپاد بصورت کاملاً خودکار با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر و تطبیق الگو.

✓ بهینه کردن تشخیص اشیاء و موانع با استفاده از ترکیب الگوریتم‌های شناسایی ویژگی و تطبیق FAST و SURF.

### اهداف کاربردی:

✓ امکان استفاده در حوادث غیر مترقبه توسط هلال احمر جهت شناسایی مصدومان و حمل بسته‌های امدادی

✓ انجام عملیات بازرسی در صنایع مختلف و بازرسی جاده‌ها توسط نیروی انتظامی

✓ نقشه برداری هوایی در مزارع و ... در کاربردهای وزارت جهاد کشاورزی

## ۱-۶- سوالات پژوهش

سوال اصلی:

✓ استفاده از روش ترکیبی الگوریتم‌های تطبیق الگوی FAST و SURF، تا چه میزان منجر به کمینه کردن خطای فرود پهپاد می‌شود؟

سوالات فرعی (فرضیه‌های تحقیق):

- ✓ استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر و تطبیق الگو، تا چه میزان در فرایند کنترل پهپاد بصورت خودمختار، نسبت به روش‌های کنترلی پیشین، تاثیر گذار خواهد بود؟
- ✓ ترکیب روش‌های تطبیق الگو، تا چه میزان سرعت تشخیص اشیاء در تصویر را بهبود می‌بخشد؟

## ۱-۷- فرضیات پژوهش

- ✓ ارائه راه‌کار ترکیبی الگوریتم‌های استخراج و تطبیق ویژگی FAST و SURF، در راستای عملیات اکتشاف هدف و فرود خودمختار پهپاد، منجر به بهبود انجام عملیات خواهد گردید.
- ✓ بکارگیری الگوریتم‌های پردازش تصویر و اعمال مراحل پیش‌پردازش تصویری در بهبود عملکرد فرایند مسیریابی و کنترل پهپاد بصورت خودمختار نسبت به روش‌های کنترلی پیشین موثر واقع خواهد شد.

## ۱-۸- محدودیت‌ها و پیش‌فرض‌های پژوهش

پیش‌فرض‌ها:

- ✓ پهپاد یک جسم صلب است.
- ✓ دوربین به صورت صلب به پهپاد متصل شده و جابجایی مستقل ندارد.
- ✓ فرض بر این است زاویه حرکت پهپاد از ۱۵ درجه بیشتر نخواهد شد.
- ✓ سرعت حرکت پهپاد حداکثر تا ۵ متربرثانیه در نظر گرفته خواهد شد.
- ✓ بدلیل استفاده از نرم افزارهای شبیه ساز تاثیر عوامل فیزیکی مانند سرعت باد، گرد و غبار و سایر عوامل تاثیر گذار جوی صفر در نظر گرفته می‌شود.
- ✓ تابش نور بصورت یکنواخت خواهد بود.

محدودیت‌ها:

- ✓ عدم وجود منابع پردازشی کافی و افت کارایی در عملکرد بلادرنگ الگوریتم‌های استخراج و تطبیق ویژگی

## ۹-۱- متغیرهای پژوهش

متغیرهای پژوهش نسبت برتری پژوهش انجام شده را به نسبت پژوهش‌های گذشته در قالب کمی و کیفی نمایش می‌دهد. متغیرهای پژوهش شامل متغیرهای وابسته، متغیرهای زمینه‌ای و متغیرهای مستقل به همراه شرح جزئیات در جدول (۱-۱) ارائه گردیده است.

جدول ۱-۱- متغیرهای پژوهش

ردیف	عنوان متغیر	نوع متغیر			کمی		تعریف علمی - عملی متغیر	نحوه اندازه‌گیری متغیر	مقیاس
		زمینه‌ای	مستقل	وابسته	پژوهش	مستند			
۱	سرعت فرود			X	X		مدت زمان فرود بعد از تشخیص محل فرود	$T_{detection} - T_{landing}$	ثانیه
۲	سرعت تشخیص هدف			X	X		زمان سپری شده برای تشخیص هدف توسط الگوریتم تشخیص	$T_{detect} - T_{StartProcess}$	ثانیه
۳	سرعت پردازش			X	X		میزان تصاویر پردازش زده بر حسب زمان	تعداد تصاویر پردازش شده در واحد ثانیه	FPS
۴	تعداد لایه‌ها		X		X		تعداد لایه‌های استفاده شده	تعداد لایه‌های استفاده شده در الگوریتم‌های استخراج ویژگی	عدد
۵	آستانه ویژگی‌یاب الگوریتم هسین		X		X		حد آستانه شناساگر	تعداد حداکثر ویژگی استخراج شده توسط الگوریتم هسین	عدد
۶	حد آستانه الگوریتم فست		X		X		حد آستانه الگوریتم	میزان حساسیت الگوریتم فست برای گوشه‌یابی	عدد
۷	حد آستانه لبه‌یابی		X		X		حد آستانه الگوریتم لبه‌یابی	میزان حساسیت الگوریتم	عدد
۸	درجه صاف‌شدگی تصویر		X		X		تعداد دفعات تکرار عملیات صاف‌کردن	دفعات تکرار عملیات	عدد
۹	اندازه وصله (Patch)		X		X		میزان بزرگی ناحیه‌ای از تصویر	میزان بزرگی ناحیه‌ای از تصویر برای محاسبه دوران ویژگی	عدد

## ۱-۱۰- تعاریف واژه‌ها و اصطلاحات فنی

تعاریف واژه‌ها و اصطلاحات فنی در جدول (۱-۲) ارائه گردیده است.

جدول ۱-۲- تعاریف واژه‌ها و اصطلاحات فنی

نام واژه	تعریف و تشریح واژه
پهپاد (پرنده هدایت پذیر از راه دور)	پهپاد یا وسیله هوایی بدون سرنشین به هر وسیله متحرک که پرواز می کند و خلبان نداشته باشد گویند.
<b>UAV</b> <b>(Unmanned Aerial Vehicle)</b>	وسيله هوایی بدون سرنشین به هر وسیله متحرک که پرواز می کند و خلبان نداشته باشد گویند.
<b>UGV</b> <b>(Unmanned Ground Vehicle)</b>	وسيله زمینی بدون سرنشین به هر وسیله متحرک که روی زمین جابجا شود و اپراتور نداشته باشد گویند.
<b>SBC</b> <b>(Single Board Computer)</b>	کامپیوتر کوچک تک بردی یک کامپیوتر کامل است که بر روی یک برد کوچک طراحی و ساخته شده است.
<b>ROS</b> <b>(Robot Operating System)</b>	سیستم عامل ربات ها یک میان افزار رباتیک (یعنی مجموعه ای از چارچوب‌های نرم‌افزاری برای توسعه نرم‌افزار ربات) است.
<b>SIFT</b> <b>(Scale-Invariant Feature Transform)</b>	تبدیل مستقل از مقیاس ویژگی یک الگوریتم در بینایی ماشین است که برای استخراج ویژگی‌های مشخص از تصاویر، برای تطبیق نماهای مختلف یک جسم یا صحنه و شناسایی اجسام به کار می‌رود.
<b>FAST</b> <b>(Features from Accelerated Segment Test)</b>	یک روش گوشه‌یابی است که برای استخراج ویژگی‌های مشخص از تصویر به منظور تطبیق نماهای داخل تصویر و ردیابی و جستجوی اشیاء در تصویر بکار می‌رود.

## ۱۱-۱- مروری بر ساختار پایان‌نامه

فصل دوم: این فصل شامل دو بخش اساسی بدین شرح می‌باشد، در بخش اول به بررسی ادبیات پژوهش و مفاهیم پایه در ارتباط با ترکیب روش‌های استخراج و تطبیق ویژگی پرداخته شده و مباحث بنیادی ارائه خواهد گردید. و در بخش دوم به بررسی سوابق پژوهش‌های انجام شده در راستای کنترل فرود خودکار پهپادها پرداخته خواهد شد و اهمیت مسئله پژوهشی در میان سوابق پژوهش نقد خواهد گردید.

فصل سوم: در فصل سوم راه‌کار پیشنهادی ترکیب روش‌های استخراج و تطبیق ویژگی و اجزای وابسته آن معرفی خواهد گردید. همچنین در مورد تشخیص نواحی کاندید و مستعد جستجو انتخاب الگوریتم‌های پیش پردازش مورد بررسی و انتخاب قرار گرفته است. در این فصل چگونگی عملکرد راه‌کار پیشنهادی در راستای بهبود مسئله پژوهش بیان خواهد گردید.

فصل چهارم: در فصل چهارم به توسعه و شبیه‌سازی راه‌کار پیشنهادی با استفاده از نرم افزار شبیه ساز Gazebo تحت سیستم عامل اوبونتو پرداخته شده و نتایج آن با ترکیب روش‌هاش مشابه در این حوزه مورد مقایسه و ارزیابی قرار خواهد گرفت تا نقاط ضعف و قوت ترکیب پیشنهادی در مقایسه با ترکیب‌های دیگر مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. به منظور ارزیابی کارایی، ترکیب پیشنهادی این پژوهش با ۴ ترکیب متفاوت دیگر مورد مقایسه قرار گرفته است و نتایج آن در فصل ۵ مورد نتیجه گیری قرار گرفته است.

و در فصل پنجم: این فصل که به عنوان فصل نهایی از پژوهش جاری می‌باشد، ارزیابی نتایج حاصل از پژوهش و همچنین نتیجه‌گیری نهایی از پژوهش انجام شده است. در این فصل نتیجه ترکیب‌های ۵ روش مختلف مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. همچنین کارهای آتی و پیشنهادات پژوهشی در این فصل معرفی خواهد گردید.

## فصل دوم

### مروری بر ادبیات و پیشینه تحقیق

#### ۲-۱- مقدمه

در دهه های اخیر فرود پهپاد ها یکی از مسائل چالش بر انگیز به شمار می رود. از این رو بدلیل ریسک بالا در زمان فرود خلبان ها ساعات زیادی را صرف تمرین برای فرود پهپاد می کنند. توسعه روش های فرود خودکار پهپاد ها در دهه های اخیر یکی از فعال ترین زمینه های تحقیق برای پژوهشگران بسیاری بوده است. در این فصل به بررسی پژوهش ها و روش های پیشین و مرتبط با پژوهش پیش رو پرداخته خواهد شد. به جهت بررسی شایسته در این ارتباط، مفاهیمی به تفصیل در حوزه پهپاد ها و روش های بکارگرفته شده تشخیص شئی در پژوهش های پیشین و همچنین روش های پیشنهادی در این رابطه ارائه خواهد گردید. هدف از این نقد و بررسی ها، شناسایی و تحلیل حیطه پژوهشی و همچنین بررسی جوانب موضوع پژوهشی به منظور فراهم سازی مقدمات مورد نیاز در راستای ارائه روشی هدفمند می باشد.

#### ۲-۲- ادبیات پژوهش

در این بخش در ارتباط با مفاهیم پایه ای و زیرساختی تحقیق، شامل انواع پهپاد ها، روش های کنترل پهپاد با بینایی ماشین و روش های تشخیص ویژگی و تطبیق الگو در تصاویر، مباحثی به تفصیل بیان و ارائه خواهد گردید.

استفاده از پهپادها در سال‌های اخیر دارای رشد زیادی بوده است. این پهپادها در ابتدا توسط نیروهای نظامی استفاده می‌شدند و امروزه در کاربردهای غیرنظامی جای خود را پیدا کردند و دارای دامنه کاربردی شامل کشاورزی، نقشه برداری سه بعدی، عملیات امداد و نجات و حتی در سینما، می‌باشد.

این نوع پهپادها قابلیت کنترل توسط خلبان یا پرواز خودکار توسط GPS در مکانهای باز را دارند و جهت انجام مانورهای هوایی پیچیده، پرواز خودکار، شناسایی مصدومان، بازرسی و نقشه برداری در مکانهای بسته، به کار می‌روند در بعضی مأموریت‌ها، نیاز به یافتن یک جسم مشخص در یک محیط ناایمن برای انسانها و یا یافتن یک مصدوم در عملیات نجات تنها به کمک اپراتور ممکن نیست، این مسئله ما را بر این داشت که با استفاده از پردازش تصویر بر روی پرنده، بتوانیم جسم مطلوب را بیابیم. خطای انسانی کمتر، سرعت عمل بیشتر، عملیات خودکار، امکان استفاده از چندین ربات همزمان بدون نیاز به نیروی انسانی بیشتر و... بر اهمیت خودکار سازی عملکرد این نوع ربات‌ها می‌افزاید. در پرنده‌های بدون سرنشین، نیرویی که باعث پرواز می‌شود، تعیین کننده نوع پرنده است بنابراین به صورت زیر می‌توان پرنده‌های بدون سرنشین را دسته بندی نمود<sup>[۱]</sup>: سیستم‌های بال ثابت<sup>۱</sup>، مولتی روتورها<sup>۲</sup> و سیستم‌های دیگر که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود

## ۲-۲-۱- سیستم‌های بال ثابت

اصطلاح بال ثابت بیانگر این است که وسیله پرنده از بال ثابت یا استاتیک استفاده می‌کند بال پرنده با کمک نیروی جلوبرندگی، نیروی بالابرنده ایجاد می‌کند و قدرت پرواز را به وسیله پرنده می‌دهد. به عنوان نمونه می‌توان به هواپیماها، کایت‌ها و گلایدرها اشاره نمود. نمونه‌ی بدون سرنشین این پرنده‌ها PARROT DISCO است که در شکل (۲-۱) شماره نشان داده شده است.



شکل ۲-۱- پرنده بدون سرنشین PARROT DISCO

## ۲-۲-۲- مولتی روتورها

مولتی روتورها زیر مجموعه‌ای از چرخ‌بال‌ها هستند. چرخ‌بال<sup>۳</sup> به پرنده‌ای گفته می‌شود که از نیروی چرخش بال‌ها<sup>۴</sup> برای بلند شدن استفاده می‌کند. هلیکوپترها نمونه‌ای از چرخ‌بال‌ها هستند که از یک محور چرخان یا روتور

<sup>1</sup> Fixed-Wing Systems

<sup>2</sup> Multirotor Systems

<sup>3</sup> Rotorcrafts

<sup>4</sup> Rotary Wings



استفاده می‌کنند. چرخ‌بال‌ها می‌توانند یک یا چند روتور داشته باشند پرنده‌های بدون سرنشینی<sup>۱</sup> که از سیستم‌های گردان<sup>۲</sup> استفاده می‌کنند در بیشتر مواقع بیش از یک محور چرخان دارند که معمول‌ترین آن‌ها کوادکوپترها هستند که دارای ۴ موتور می‌باشند[۱].

این نوع خاص از پرنده‌های بدون سرنشین بر خلاف هلیکوپترهای معمول، با استفاده از اختلاف دور ملخ برای کنترل نیروی بالا برندگی و گشتاور، عمل می‌کنند و در آنها سیستم‌های پیچیده مکانیکی مشاهده نمی‌شود. نیروی بالا برندگی هر موتور در این پرنده، نقش اساسی در قدرت مانور پذیری این پرنده ایفا می‌کند. سایز کوچک و سرعت مولتی‌روتورها به آنها کمک می‌کند مانورهای پیچیده‌هوائی را انجام دهند[۲]. شکل (۲-۲)، نمونه‌ی بسیار محبوب از این نوع پهپادها را که ساخت شرکت چینی DJI دارای چهار موتور (کوادرور یا کوادکوپتر) میباشد.



شکل ۲-۲- ربات تجاری فانتوم ساخت شرکت DJI

### ۲-۲-۳- سیستم‌های دیگر

دسته سوم متعلق به بعضی دیگر از انواع پرنده‌ها هستند که نمی‌توان آنها را بال ثابت یا مولتی روتور نامید. به این دلیل که نه دارای بال ثابتی هستند و نه دارای چندین روتور و یا دارای ویژگی هر دو گونه پرنده هستند[۱]. مولتی روتورهای هیبریدی که در این دسته قرار می‌گیرند. این نوع پرنده‌ها در حالی که برای پرواز از بال ثابت بهره می‌برند که از چندین موتور برای فراز و فرود استفاده می‌کنند، لذا قادر به طی نمودن مسافت‌های طولانی‌تری هستند. در شکل (۲-۳) نمونه ساخته شده توسط شرکت Latitude نشان داده شده است.<sup>۳</sup>

<sup>1</sup> Drones

<sup>2</sup> Rotary Systems

<sup>3</sup> - [latitudeengineering.com/products/hq](http://latitudeengineering.com/products/hq)



شکل ۲-۳- پرنده HQ-40 ساخت شرکت LATITUDE

به عنوان نمونه می‌توان از پرنده‌های غیرمتداولی نیز مانند پرنده های بالدار Delfly Explorer و Singlecopter در این دسته نام برد که در شکل (۲-۴) و (۲-۵) قابل مشاهده هستند.



شکل ۲-۵- Delfly Explorer



شکل ۲-۴- پهپاد SingleCopter

## ۲-۲-۴- تشخیص و تعقیب اشیاء

پایش ویدئویی<sup>۱</sup> از موضوعات تحقیقاتی بسیار فعال در زمینه پردازش تصویر است که تلاش می‌کند اشیاء را شناسایی، تشخیص و تعقیب کند که از تعدادی عکس متوالی برای این کار استفاده می‌کند. در همین حال رفتار اشیاء را درک می‌کند و تلاش می‌کند جایگزین روش قدیمی مانیتورینگ توسط نیروی انسانی شود. تشخیص اشیاء مسئله بسیار مهم و چالش برانگیزی در فعالیتهای امروزی مانند نظارت، ناوبری وسایل نقلیه و ناوبری پهپادهای هوشمند است. تمام روش‌ها تعقیب اشیاء، نیازمند الگوریتم‌های تشخیص اشیاء می‌باشند، که یا در تمام عکس‌های متوالی اجرا می‌شوند یا زمانی که شیء تشخیص داده شد، الگوریتم تعقیب کننده شروع به کار می‌کند. تعقیب شیء عبارت است از مکان‌یابی یک یا چند شیء در طول زمان که با استفاده از دوربین صورت بگیرد. رایانه‌های قدرتمند و همچنین در

<sup>۱</sup> Video surveillance

دسترس بودن دوربین‌های با کیفیت و ارزان و نیاز روز افزون به پردازش تصویر، محققین بسیاری را نسبت به الگوریتم‌های تشخیص اشیاء ترغیب نموده است [۳]. برای طراحی سیستم بینایی ماشین درک "ویژگی" مهم است. سیستم بینایی ماشین ویژگی‌ها را از داده‌های ورودی استخراج کرده و اطلاعات مفیدی از آن‌ها می‌سازد.

## ۲-۲-۵- معرفی سیستم بینایی ماشین

برای یک سیستم بینایی ماشین می‌توان سه مرحله تعریف کرد:

مرحله جمع‌آوری داده‌ها، که از یک سری سنسورها یا رابطه‌های خارجی برای به دست آوردن تصاویر استفاده می‌کند. در این مرحله می‌توان از تکنیک‌های پردازش تصویر مانند الگوریتم‌های حذف نویز برای تنظیم ورودی‌ها استفاده کرد [۳].

مرحله ارائه اطلاعات که مهمترین قسمت یک سیستم بینایی ماشین می‌باشد. داده‌های جمع‌آوری شده در این مرحله به ساختارهایی تبدیل می‌شوند که برای سیستم مورد نظر موثرتر باشند. در این مرحله می‌توان اطلاعاتی که برای سیستم بی اهمیت هستند را حذف و روی اطلاعاتی که برای سیستم مهم هستند، تاکید کرد. اگر ارائه اطلاعات در این مرحله به خوبی انجام شود، در مرحله بعد کار بسیار ساده‌تر می‌شود و در نتیجه زمان زیادی از طراحی سیستم بینایی ماشین صرف تعریف درست از ارائه مناسب می‌شود.

مرحله تصمیم‌گیری، در این مرحله می‌باید با توجه به روش‌های موجود، جهت خروجی سیستم تصمیم‌گیری کرد. برای کارهای پیچیده‌ای مانند شناسایی اشیاء یا شناسایی چهره این مراحل احتیاج به استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و شناسایی الگو پیدا می‌کند.

یک آنالیز ویدئویی شامل سه مرحله می‌باشد:

۱. تشخیص سوژه‌های متحرک<sup>۱</sup>
۲. تعقیب اشیاء از هر فریم تا فریم بعدی<sup>۲</sup>
۳. استفاده از حرکت شیء (برای تشخیص رفتار شیء)<sup>۳</sup>

در سیستم تشخیص اشیاء، مراحل زیر طی می‌شود.



شکل ۲-۶ - سیستم تشخیص اشیاء

در یک سیستم نظارتی، دوربین‌های ویدئویی در مکان‌های ثابت قرار گرفته‌اند که تصاویر خود را به نقطه خاصی ارسال می‌کنند در حالی که در پهلوهای پرنده، دوربین متحرک است، هیچ جای ثابتی ندارد و در شش درجه

<sup>1</sup> Detection of interesting moving objects

<sup>2</sup> Tracking of such objects from frame to frame

<sup>3</sup> Analysis of object tracks to recognize their behavior

آزادی قابلیت حرکت دارد این امر، باعث مشکل شدن تشخیص، مکان‌یابی و تعقیب اشیا می‌شود. که ممکن است توسط یکی از عوامل زیر بوجود آمده باشد:

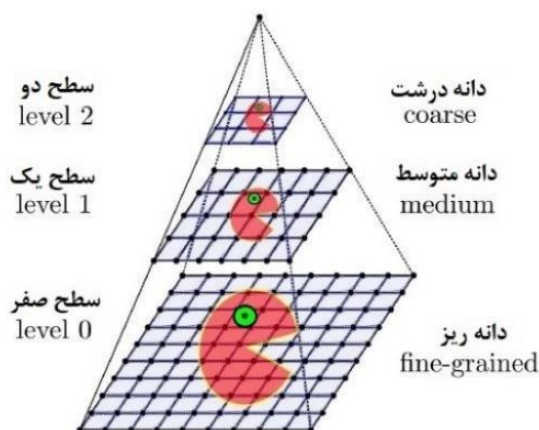
- ✓ از دست رفتن اطلاعات به خاطر تبدیل تصاویر دنیای ۳ بعدی به ۲ بعدی
- ✓ وجود نویز در تصویر
- ✓ وجود اجسام غیر صلب در تصویر
- ✓ اشیاء با شکل‌های پیچیده
- ✓ تغییر نور تصویر
- ✓ نیاز به پردازش همزمان (Real-Time processing)

## ۲-۲-۶- روش‌های پرکاربرد جهت تشخیص اشیاء

از انواع این روش‌ها می‌توان به انطباق الگو، تشخیص رنگ و تشخیص و مطابقت ویژگی نام برد که در ادامه به بررسی هر یک پرداخته می‌شود.

### ۲-۲-۶-۱- انطباق الگو

انطباق الگو<sup>۱</sup> الگوریتم نسبتاً ساده ایست برای انطباق تکه‌هایی از تصویر، با تصویری که از قبل به ما داده شده است نحوه کارکرد این (الگو) به این صورت است که با حرکت دادن الگو، بر روی تصویر دریافتی و محاسبه خطاها، از اختلاف پیکسل‌های دو تصویر، مکانی که این خطاها کمترین مقدار را دارند بدست می‌آورد. این امکان وجود دارد این روش را ارتقا بخشید و با اسکن کردن تصویر با الگوی Scale شده، بتوان یک شی را با وجود تغییر در سایز آن پیدا کرد. امکان دیگر، انتخاب مکان احتمالی شی و جستجوی اطراف آن مکان، برای یافتن شی است. با استفاده از این روش و تکرار این عملیات، می‌توان به هرم تصویری دست پیدا کرد که در شکل (۲-۷) نمایش داده شده است [۴].



شکل ۲-۷ هرم تصویری

همانطور که در شکل (۷-۲) نشان می‌دهد، این روش تصویر نمونه را به صورت بالا به پایین از پایتترین رزولوشن تا بالاترین رزولوشن با تصویر داده شده مطابقت می‌دهد.

## ۲-۶-۲-۲- تشخیص رنگ

یکی از روش‌هایی که برای تعقیب اشیاء استفاده می‌شود، Color Tracking است. به این صورت که تمام پیکسل‌های تصویر، بررسی می‌شوند تا زمانی که رنگ مورد نظر یافت شود. خروجی الگوریتم که فیلتر شده تصویر اولیه می‌باشد، تصویری باینری<sup>۱</sup> است که رنگ‌های مورد نظر ما به صورت سفید رنگ و رنگ‌های دیگر به صورت مشکی نشان داده می‌شوند.

از معایب روش مذکور می‌توان به حساسیت نسبت به تغییر نور اشاره کرد بدین نحو با تغییر نور محیط، رنگ تشخیص داده شده تغییر می‌کند و لذا در عمل، نیازمند در نظر گرفتن آستانه ای جهت تشخیص رنگ می‌باشد به علاوه در صورتی که در محیط، رنگ دیگری هم‌رنگ با رنگ جسم وجود داشته باشد، این باعث خروجی اشتباه از طرف ربات می‌شود و بنابراین مکان‌یابی را با مشکل مواجه می‌سازد. در شکل (۸-۲) خروجی الگوریتم نمایش داده شده است.



شکل ۸-۲- خروجی الگوریتم تشخیص و فیلتر کردن رنگ

## ۲-۶-۲-۳- تشخیص و مطابقت ویژگی

در پردازش تصویر، ویژگی<sup>۲</sup> مشخص کننده چیزی است که قابل توجه باشد، چیزی که بتوان بواسطه آن اطلاعاتی را از تصویر دریافت کرد. برای مثال نقاط کلیدی (گوشه ها) که توسط نحوه قرار گیری نقاط همسایگی تعریف می‌شود از این دست ویژگی ها است. مثال های دیگر می‌توان به لبه ها و خطوط اشاره کرد. شکل (۹-۲) ویژگی های یک تصویر را نشان می‌دهد که توسط الگوریتم تشخیص ویژگی پیدا شده اند. در آغاز تصویری که شامل سوژه مورد نظر ما می‌باشد را در نظر می‌گیریم و الگوریتم تشخیص ویژگی را بر روی آن پیاده سازی می‌کنیم سپس الگوریتم تلاش می‌کند ویژگی‌های مد نظر ما را پیدا کند و آن‌ها را منطبق کند. به این مرحله، شرح ویژگی گفته

<sup>1</sup> Binary Image

<sup>2</sup> Feature

می‌شود. در این مرحله الگوریتم سعی می‌کند ویژگی‌هایی که یافت شده اند را به صورت برداری و فشرده ذخیره کند. بعد از آن، فرآیند مشابهی بر روی تصویر دوم نیز پیاده سازی می‌شود تا ویژگی‌های تصویر دوم نیز بدست آید. در آخر الگوریتمی برای تطبیق ویژگی‌های دو تصویر به کار گرفته می‌شود.

روش‌های مختلفی برای تشخیص ویژگی وجود دارد که الگوریتم‌های زیر، کاربردی‌ترین آنها هستند [۴]:

۱- Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)

۲- Speeded-Up Robust Features (SURF)

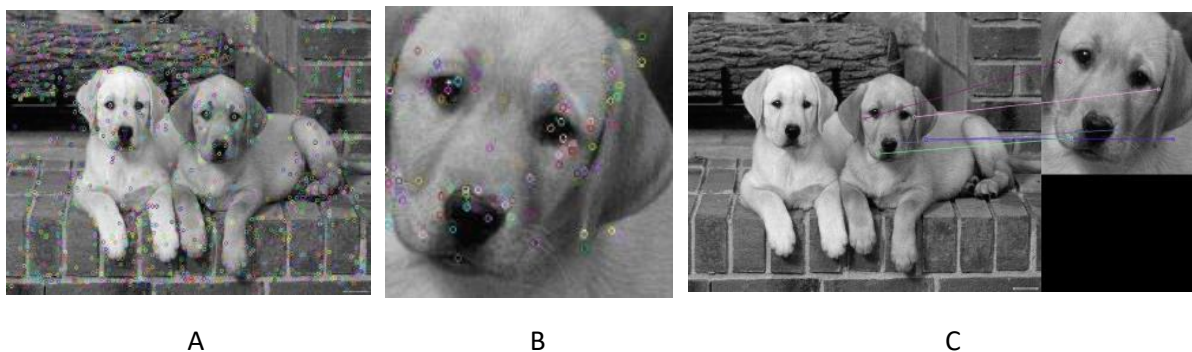
۳- Binary Robust Invariant Scalable Keypoint (BRISK)

۴- Oriented fast and Rotated Brief (ORB)

۵- Features from Accelerated Segment Test (FAST)

این الگوریتم‌ها به خوبی در کتابخانه بینایی ماشین **OpenCV** پیاده سازی شده اند<sup>۱</sup> و نتایج بهتری نسبت به

تطابق الگو و تشخیص رنگ ارائه می‌دهند به دلیل اینکه نسبت به چرخش و اندازه سوژه مطمئن تر عمل می‌کند.



شکل ۲-۹ - نمایش ویژگی‌های یافت شده تصویر و تطابق صحیح ویژگی‌های دو تصویر

در انتخاب یک الگوریتم استخراج ویژگی به چند چالش اصلی باید توجه کرد. که میتوان به مواردی همچون: مقاوم در برابر مقیاس، مقاوم در برابر چرخش، مقاوم در برابر نویز، مقاوم در برابر کشیدگی<sup>۲</sup>، مقاوم در برابر تغییرات روشنایی اشاره کرد. در این پژوهش با استفاده از ترکیب الگوریتم‌های FAST و SURF روش پیشنهادی را ارائه خواهیم داد که به نظر می‌رسد از روش‌های پیشین بهینه تر باشد.

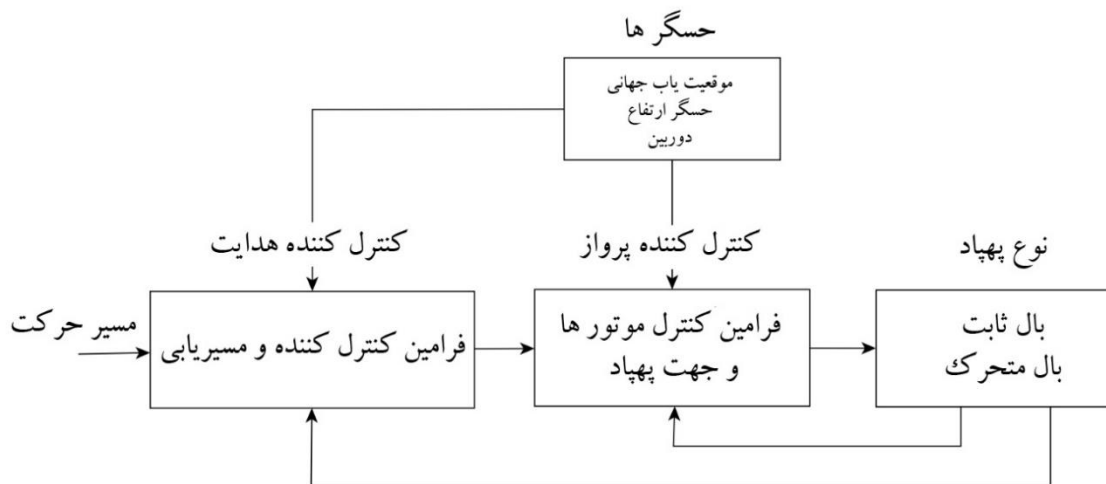
برای این منظور در ابتدا مطالعه‌ای بر دلایل استفاده از پهناد عمودپرواز خواهیم داشت. و در ادامه به‌طور دقیق‌تر به بررسی روش‌های تطبیق الگو خواهیم پرداخت و چگونگی استفاده از این روش‌ها بر روی پهنادها مورد نقد و بررسی قرار خواهیم داد.

پهنادها در ماموریت‌هایی که از راه دور کنترل می‌شوند به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله ماموریت‌ها می‌توان به امداد و نجات [۵]، جستجو و اکتشاف [۶]، کشاورزی، نظارت بر چاه‌های نفتی [۷]، آزمایشات علمی [۸] و نقشه برداری محیطی [۹] اشاره کرد. لزوم ایجاد ارتباط با پهناد، تنوع سنسورها و روش‌های کنترل منجر به تولید

<sup>۱</sup> <https://opencv.org/>

<sup>۲</sup> Shear invariant

پهپادها در اشکال و چینش و خصوصیات مختلف شده است. مرسوم ترین نوع پهپادها نوع بال ثابت می باشد. از مزایای پهپادهای بال ثابت می توان به ساختار ساده تر، سرعت زیاد پرواز و مداومت پروازی بیشتر نسبت به مولتی روتورها، اشاره کرد. پهپادهای بال ثابت برای برخاستن از زمین و فرود نیازمند فضای زیادی هستند. از مزایای مولتی روتورها می توان به عدم نیاز به فضای زیاد برای برخاستن و فرود آمدن، قدرت مانور بسیار بالا و قدرت بیشتر در تصویربرداری هوایی اشاره کرد. در اکثر سیستم های خودکار پرواز برخاستن از زمین بصورت خودکار انجام می پذیرد. انجام این عملیات ریسک چندانی را به همراه ندارد. همانطور که زمین جسمی سلب در برابر پهپاد به شمار می رود، در عملیات فرود بعلت برخورد به زمین ریسک بسیار بالاست، ازین رو دقت در انجام عملیات فرود باید بسیار بالا باشد. عملیات فرود باید در زمان کم و فضای کم انجام پذیرد. بهمین منظور استفاده از روش های درک محیط و حسگرهای قوی و سریع و همچنین کنترل دقیق در این عملیات به وضوح مشاهده می شود. عوامل بسیاری برای یک فرود موفق باید در نظر گرفته شوند. مانند: نوع محیط فرود (محیط بسته یا محیط باز)، نوع پوشش محیط، عوامل جوی مانند باد و باران. استفاده از دوربین بر روی پهپادها یکی از تکنیک های مرسوم و پرکاربرد در حس کردن محیط اطراف پهپاد و همچنین تخمین موقعیت و جهت پهپاد، می باشد. بهمین منظور از دوربین بعنوان ورودی سیستم کنترلی پهپاد استفاده می شود. سیستم کنترل کننده پهپاد می تواند کنترل خطی ساده یا ترکیبی از سیستم های کنترلی هوشمند و مرکب باشد. شکل (۲-۱۰) دیاگرام یک سیستم کنترل فرود رایج را نمایش می دهد [۱۰].

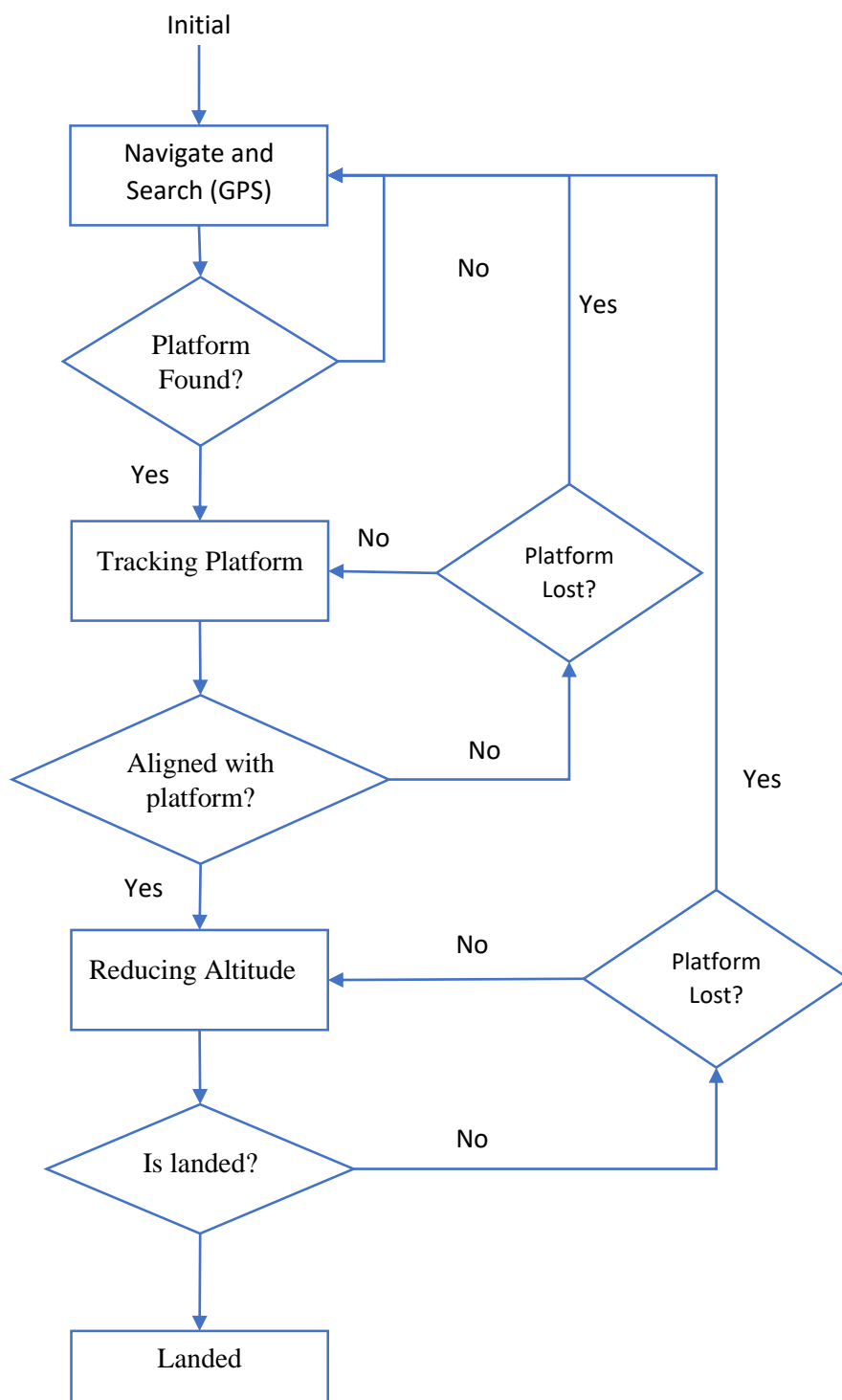


شکل ۲-۱۰- یک سیستم کنترل کننده فرود عمومی [۱۰]

این سیستم شامل ۴ قسمت می باشد که شامل: حسگرها و سیستم ناوبری، کنترل کننده هدایت، کنترل کننده پرواز و نوع پهپاد می باشد. قسمت حسگرها و سیستم ناوبری عملیات تشخیص موقعیت پهپاد را انجام می دهد. این اطلاعات سپس در اختیار قسمت کنترل کننده هدایت قرار می گیرد. کنترل کننده هدایت دستورات لازم برای هدایت پهپاد، مانند: سرعت، شتاب، دوران و ... را به منظور پیمایش یک مسیر مشخص ایجاد می کند. سپس اطلاعات در

اختیار کنترل کننده پرواز قرار می گیرد. کنترل کننده پرواز دستورات لازم را برای محرک ها (موتورها) ارسال می کند. در بخش های بعد انواع سیستم های فرود خودکار بر مبنای GPS و بینایی ماشین مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در سیستم های فرود خودکار، تمامی قسمت ها باید باهم هماهنگ کار کنند. برای مثال عملیات پردازش تصاویر دریافتی، دقت، وسعت، میزان تاخیر باید بصورتی انتخاب شوند که عملکرد کلی سیستم، بهینه گردد. هدف اصلی و کاربردی این پژوهش، یافتن موقعیت ازپیش تعریف شده برای فرود دقیق پهپاد می باشد. همانطور که در پیشفرض های پژوهش اشاره شد، محل تقریبی فرود توسط مختصات GPS مشخص می باشد، ولی به دلیل خطای GPS عملیات فرود با دقت زیادی انجام پذیر نخواهد بود. بنابراین عملیات مسیریابی با استفاده از GPS انجام می پذیرد. مادامی که پهپاد به موقعیت تقریبی رسید و همچنین محل فرود در دیدرس پهپاد قرار گرفت، عملیات کنترل دقیق فرود بر روی پهپاد اجرا خواهد شد و پهپاد با دقت بالا و کمترین میزان خطا بر روی محل فرود، فرود خواهد آمد. فلوجارت این سیستم در شکل (۲-۱۱) نشان داده شده است.





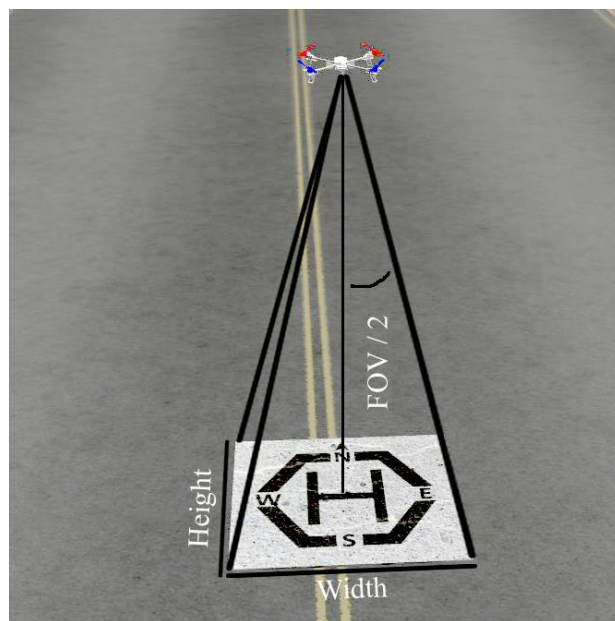
شکل ۱۱-۲- بلوک دیاگرام فرود دقیق خودکار

مادامی که پهپاد در حال پیمایش مسیر می باشد، کنترل کننده هدایت پرواز مبنی بر GPS می باشد. در حالت جستجو و پیمایش بر مبنی GPS پهپاد تا مجاورت محل فرود هدایت خواهد شد. بدلیل شرایط جوی و همچنین خطای چند متری GPS ممکن است دقیقاً محل فرود زیر پهپاد نباشد. با توجه به اینکه میدان دید دوربین (FOV) محدود می

باشد، با استفاده از آن و روابط مثلثاتی و طول و عرض محل فرود می توان حداقل ارتفاع پروازی مورد نیاز برای شناسایی محل فرود توسط بینایی ماشین با رابطه (۱-۲) محاسبه کرد. بنابراین اگر ارتفاع از حداقل ارتفاع مورد نیاز کمتر باشد، عملیات جستجو با شکست مواجه می شود و پهپاد ارتفاع خود را زیاد خواهد کرد.

$$Min\ altitude = \frac{\max(width, height)}{2 * \tan(FOV/2)} \quad (1-2)$$

در این رابطه  $FOV$  زاویه دید دوربین می باشد.  $width$  و  $height$  طول و عرض هدف می باشند. در شکل (۱۲-۲) رابطه بین میدان دید دوربین و محل فرود نمایش داده شده است.



شکل ۱۲-۲- میدان دید دوربین پهپاد

تغییر حالت از حالت GPS به بینایی ماشین زمانی اتفاق خواهد افتاد که محل فرود در زاویه دید دوربین پهپاد باشد. بنابراین کنترل کننده بر مبنای بینایی ماشین، نیازمند تخمین زدن حالت پهپاد نسبت به محل فرود می باشد و کنترل کننده بینایی ماشین تا زمانی که این تخمین به درستی محاسبه نشده باشد، صبر خواهد کرد. سپس، کنترل کننده بر مبنای بینایی ماشین، عملیات تنظیم دقیق پهپاد با مرکز هدف را انجام خواهد داد و بردارهای حرکتی در راستای X و Y را محاسبه کرده و به کنترل کننده هدایت ارسال خواهد کرد. بردارهای حرکتی همان بردار انتقال مرکز پهپاد به مرکز محل فرود در تصویر می باشد. در این حالت، بدلیل شرایط جوی ممکن است پهپاد محل فرود را گم کند. گم شدن محل فرود بدین معنی نیست که به محض از دست دادن پهپاد در یک فریم تصویر به حالت جستجو تغییر حالت دهیم. بنابراین الگوریتمی مورد نیاز است که بتواند گم شدن محل فرود را پس از مدت زمان خاصی و در شرایط مختلف تایید کند و پس از تایید گم شدن محل فرود به حالت جستجو بر مبنای GPS تغییر حالت دهد.

در حالی که محل فرود ثابت نباشد و متحرک باشد (مانند سقف خودرو یا سطح کشتی) تخمین جهت حرکت محل فرود نسبت به پهپاد مورد نیاز می باشد. در این حالت یک مدل از محل فرود ایجاد خواهد شد و مقادیر حرکتی نسبت به محل فرود بصورت برخط محاسبه خواهند شد. در این حالت شرایط مختلفی باید برای فرود در نظر گرفته شود و الگوریتمی نیاز دارد که تمامی این شرایط برقرار شده باشد و دستور فرود را به پهپاد ارسال کند.

آخرین مرحله فرود دقیق خودکار، حالت فرود می باشد. در حالت فرود، پس از رسیدن به ارتفاع مناسب، فرود انجام می پذیرد. در این حالت وقتی ارتفاع زیاد است کنترل سرعت عمودی چالش بزرگی نیست. زمانی که ارتفاع به نزدیکی حداقل ارتفاع مناسب دوربین رسید، کنترل سرعت عمودی باید انجام پذیرد و با سرعت کمتری عملیات فرود انجام پذیرد. پس از رسیدن به حداقل ارتفاع پروازی مورد نیاز، پهپاد عملیات کنترل را متوقف و فرود انجام می پذیرد. بدیهی است که در ارتفاع زیاد و ارتفاع کم، اندازه محل فرود در تصویر یکسان نیست. بنابراین باید الگوریتمی استفاده شود که نسبت به اندازه، شدت روشنایی، شکل محل فرود، تغییرات رنگ و ... حساس نباشد. برای مثال محل فرود در برخی نقاط با دایره و برخی نقاط با مربع مشخص می شود. بنابراین الگوریتم باید بصورتی باشد که با استفاده از روش ساده و کاربردی آموزش داده شود و محل فرود را تشخیص دهد.

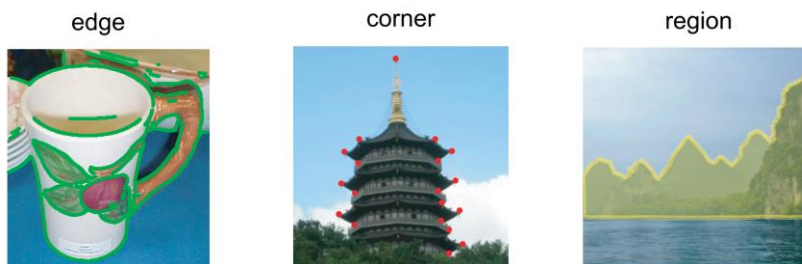
در این پژوهش، تمرکز بر استفاده از الگوریتم های تشخیص و استخراج ویژگی، به منظور تشخیص محل فرود با استفاده از یک الگوی از پیش تعریف شده، می باشد. از راه حل های مورد استفاده برای این منظور، میتوان به الگوریتم های SURF، SIFT، FAST و ... اشاره کرد. در این پژوهش ترکیبی از روش های SURF و FAST به کار گرفته شده است. در فصل سوم به تفصیل در مورد این الگوریتم ها بحث خواهد شد.

## ۲-۲-۷- راه کارهای فرود خودکار

بصورت کلی عملیات فرود خودکار پهپاد با استفاده از ابزار های مختلف صورت می پذیرد. به این منظور میتوان از دستگاه هایی مانند GPS و دوربین و حسگر های حرکتی (مانند اسکنرهای لیزری) استفاده کرد. امروزه در کلیه پهپاد ها از یکی از دستگاه های نام برده استفاده می شود. استفاده از GPS به منظور مسیریابی و هدایت پهپاد و فرود در محل تعیین شده توسط GPS به راحتی و سهولت و با قیمت پایین انجام پذیر می باشد. ولی بدلیل خطای زیاد GPS عملیات فرود با دقت و اطمینان بالا انجام پذیر نیست. تاثیرپذیری از نویز محیط در GPS به وفور دیده می شود. بهمین منظور کنترل توسط خلبان یا کامپیوتر به منظور تصحیح خطا لازم می باشد. استفاده دوربین به تنهایی کار بسیار دشوار و سخت می باشد و نیازمند نصب دوربین های متعدد بر روی پهپاد می باشد که در نتیجه هزینه بر و همچنین در پایداری پهپاد تاثیر خواهد داشت. بهمین منظور در پژوهش پیش رو با استفاده از ترکیب GPS و یک دوربین رو به پایین هدف مورد نظر شناسایی شده و عملیات فرود خودکار با دقت، صحت و اطمینان بالا انجام پذیر خواهد بود. استفاده از اسکنرهای لیزری بسیار مفید خواهد بود ولی بدلیل هزینه بسیار بالای این تجهیزات و همچنین سنگین بودن این تجهیزات، پیچیدگی ساخت پهپاد بالا رفته و نیازمند بررسی و مطالعات بسیار می باشد.

## ۲-۲-۸- معیارهای اساسی در ترکیب الگوریتم‌های شناساگر ویژگی

در این بخش از پژوهش به معرفی نیازمندی‌ها و معیارهای اساسی برای معرفی راه‌کار پیشنهادی خواهیم پرداخت که این معیارها از مطالعات و پژوهش‌های انجام شده پیشین استخراج شده است. مهم‌ترین چالش در بینایی ماشین حذف فاصله بین مفاهیم سطح بالا و سطح پایین می‌باشد. اهمیت ویژگی‌های توصیف‌گر و تفکیک‌کننده در این است که توسط آنها می‌توان این فاصله را کمتر کرد و در نهایت کارایی سیستم را بصورت چشم‌گیر بیشتر کرد. گرچه تاکنون تلاش‌های زیادی برای دستیابی به این هدف انجام پذیرفته است ولی کماکان این چالش به جد وجود دارد. از این چالش‌ها می‌توان به مواردی همچون سختی تشخیص صحیح ویژگی نام برد که این سختی به دلیل تغییرات مقیاس، زاویه دید، روشنایی و کیفیت تصاویر به وجود می‌آید. [۱۱] یک ویژگی محلی قسمتی از تصویر است که با همسایگان نزدیک خودش تفاوت دارد. نقطه ویژه<sup>۱</sup> یا همان نقطه کلیدی، موقعیت ویژگی محلی را توصیف می‌کند و توصیف‌گر الگوی اطراف نقطه ویژگی را توصیف می‌کند. یک توصیف‌گر محلی<sup>۲</sup> بردار ویژگی می‌باشد که ناحیه‌ای در اطراف نقطه ویژه را توصیف می‌کند. توصیف‌گرهای محلی نسبت به تغییرات هندسی تصویر تغییرناپذیر هستند. هرچه تصویر ویژگی‌های تکرارپذیر کمتری داشته باشد توصیف‌گرها بهتر عمل خواهند کرد و کارایی الگوریتم بیشتر می‌باشد. نقاط موردعلاقه خصوصیات مستقل و تغییرناپذیر دارند [۱۲]. اگر تصویر تغییرات هندسی داشته باشد، نقاط ویژه نیز بهمان میزان تغییرات را خواهند داشت. زاویه  $\theta$  در تصویر بیانگر میزان دوران تصویر نسبت به تصویر مرجع می‌باشد. سپس هر نقطه در توصیف‌گر بصورت  $(x, y, \sigma, \theta)$  تعریف می‌شود. که در آن  $(x, y)$  مختصات نقطه موردعلاقه و  $\theta$  دوران حول مرکز تصویر مرجع و  $\sigma$  مقیاس نسبت به تصویر مرجع می‌باشد. اگر تغییرات در کل تصویر اعمال شود، نقاط ویژه نیز به همان میزان تغییرات را پذیرا خواهد بود. [۱۳] تشخیص ویژگی (شناسایی)، عملگری سطح پایین در پردازش تصویر است و در مراحل اولیه پردازش یک تصویر از آن استفاده می‌شود و تک تک پیکسل‌های موجود در تصویر را بررسی می‌کند. پیشنیاز الگوریتم‌های شناساگر ویژگی معمولاً فیلتر گاوسی است که تصویر را صاف می‌کند که در بخش‌های آینده به آن پرداخته خواهد شد. در صورتی که الگوریتم شناساگر، از نظر پردازشی سنگین باشد یا زمان پردازش برای ما اهمیت داشته باشد، الگوریتمی با سطح بالاتر به کار گرفته می‌شود تا به شناساگر کمک کند تا فقط نقاطی خاص از تصویر را جستجو کند. بسیاری از الگوریتم‌های پردازش تصویر از تشخیص ویژگی به عنوان مرحله آغازین استفاده می‌کنند.



شکل ۲-۱۳- انواع ویژگی در بینایی ماشین [۱۱]

<sup>1</sup> Interest point

<sup>2</sup> Local descriptor

همانطور که در شکل (۲-۱۳) مشاهده می‌شود، انواع ویژگی را می‌توان به صورت زیر دسته بندی کرد:

(۱) لبه<sup>۱</sup> (۲ گوشه<sup>۲</sup> (۳ ناحیه<sup>۳</sup>

(۱) لبه: لبه‌ها می‌توانند به هر شکلی باشند. لبه‌ها در واقعیت به عنوان دسته‌ای از نقاط شناخته می‌شوند که تغییرات بالایی از نظر شدت نور داشته باشند. دلیل استفاده از این لبه‌های تیز اینست که فرض می‌شود تصویر ناپیوستگی پیدا کرده است و به دلایل زیر این ناپیوستگی بوجود آمده است:

- ناپیوستگی در عمق
- ناپیوستگی در سطح
- تغییرات در جنس اشیا

لبه‌هایی که در تصاویر به صورت طبیعی پیدا می‌شوند به صورت ایده آل دارای لبه پله‌ای نیستند و معمولاً تحت تاثیر عوامل زیر هستند [۱۴]:

- تارشدگی تصویر به دلیل تمرکز<sup>۴</sup> نامناسب دوربین
- تارشدگی بر اثر سایه مربوط به منبع نوری گسترده
- شی با سطح صاف یا ملایم

(۲) گوشه: گوشه‌ها را می‌توان محل تقاطع دو لبه توصیف کرد. این گونه نقاط در اثر ناپیوستگی هندسی اشیا بوجود می‌آیند [۱۵]. الگوریتم‌های گوشه یاب در ابتدا از لبه استفاده می‌کردند بعد برای یافتن تغییرات سریع در مسیر لبه تلاش می‌کردند. بعدها این الگوریتم‌ها توسعه پیدا کردند و عنصر لبه یابی برای یافتن گوشه حذف شد. مشکل این ویژگی این است که ممکن است نقاطی را به عنوان گوشه شناسایی کند که در حقیقت گوشه نیست برای مثال یافتن نقطه‌ای سفید در زمینه مشکی.

(۳) ناحیه: ناحیه‌ها یا لکه‌ها بر خلاف گوشه‌ها که نقطه‌ای عمل می‌کردند، به صورت منطقه‌ای خصوصیات یا ویژگی‌ها را شناسایی می‌کنند. با این وجود الگوریتم‌های توصیف‌گر ناحیه ممکن است یک نقطه را به عنوان ناحیه یا لکه بر اساس مرکز منطقه مورد نظر محاسبه کنند. الگوریتم‌های شناساگر ناحیه با هدف تشخیص مناطقی از تصویر که در خصوصیات مانند شدت نور یا رنگ متفاوت هستند، بوجود آمده‌اند. در حقیقت حباب‌ها مناطقی از یک تصویر هستند که خصوصیات ثابت یا نزدیک به یکدیگر دارند. در جدول (۲-۲) معروف‌ترین شناساگرهای ویژگی آورده شده‌اند [۱۶]. تصاویر بعد از اینکه توسط الگوریتم‌های شناساگر، شناسایی شدند باید برای انجام پردازش‌های بعدی آماده شوند در این مرحله الگوریتم‌های توصیف‌گر این ویژگی‌ها را آماده پردازش می‌کنند. این مرحله وظیفه دارد ویژگی‌های محلی را از نظر مقیاس، چرخش تخمین بزند [۱۷].

<sup>1</sup> Edge

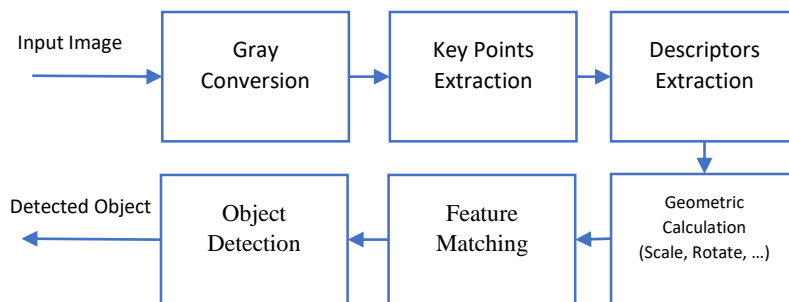
<sup>2</sup> Corner

<sup>3</sup> Region

<sup>4</sup> Focus

جدول ۱-۲- شناساگرهای ویژگی متداول و دسته بندی‌های آنها

شناساگر	لبه	گوشه	حباب
Canny	✓		
Sobel	✓		
SUSAN and FAST		✓	
Moravec		✓	
Harris and Shi&Tomasi		✓	
Harris-Laplace& Affine		✓	
BRISK and ORB		✓	
Laplacian of Gaussian			✓
Difference of Gaussians			✓
Determinant of Hessian			✓
Fast Hessian			✓



شکل ۱۴-۲- فلوچارت عملیات تشخیص شی

در شکل (۱۴-۲) فلوچارت کلی عملیات تشخیص و استخراج شیء از تصویر نمایش داده شده است. تطبیق تصویر یکی از فناوری‌های کلیدی در زمینه پردازش تصویر می‌باشد. محققان در این زمینه تحقیقات زیادی انجام داده‌اند. تمرکز اصلی در این فناوری بر روی دقت تطبیق و زمان تطبیق می‌باشد. تطبیق تصویر عموماً به دو قسمت تطبیق بر اساس هم‌بستگی خاکستری<sup>۱</sup> و ویژگی تصویر<sup>۲</sup>، تقسیم می‌شود [۱۸]. تطبیق بر اساس هم‌بستگی خاکستری روشی است که برای جستجو در تصویر استفاده می‌شود. هزینه محاسباتی این روش بسیار بالاست و همچنین نسبت به مقیاس پذیری و چرخش تصویر بسیار حساس است. در این روش تصویر بصورت سیگنال‌های دو بعدی در نظر گرفته می‌شود و با استفاده از روش‌های آماری همبستگی‌ها بین سیگنال‌های دو تصویر بدست می‌آید. برای مثال،

<sup>۱</sup> Gray correlation

<sup>۲</sup> Image feature

در الگوریتم Harris نیز به منظور تطبیق ویژگی های تصویر، اطلاعات نقاط گوشه ها استخراج می شود. سپس ، با استفاده از یک ضریب همبستگی ، منطبق ترین مختصات در تصویر را به منظور تطبیق بدست می آورد. ولی این روش نیز در مقابل مقیاس پذیری و چرخش تصویر حساس می باشد. در سال ۲۰۰۴ الگوریتم SIFT توسط آقای Lowe معرفی شد [۱۹] و با استفاده از لاپلاس گوسی<sup>۱</sup> تا حدودی مشکل مقاومت در مقابل مقیاس و چرخش حل شد. ولی بار محاسباتی سنگین به همراه داشت و در کاربرد های بلادرنگ مورد استفاده قرار گرفته نمی شود. در سال ۲۰۰۶ آقای Bay الگوریتم SURF را بر مبنای SIFT ارائه داد [۲۰] که هدف اصلی آن محاسبه توسط نقاط ویژگی موجک<sup>۲</sup> می باشد. استفاده از موجک ها به خوبی سرعت تطبیق تصاویر را افزایش می دهد. در حالی که برای جنبه های دیگر مانند استخراج ویژگی و ساختار توصیف گر<sup>۳</sup> بهبودی حاصل نشده است. الگوریتم SURF نیز برای کاربرد های بلادرنگ کارایی چندانی از خود نشان نداده است. برای تصاویری که بافت زیادی دارند آقای Rosten الگوریتم FAST را ارائه داد [۲۱]. با توجه به اینکه پردازش بلادرنگ در تطبیق تصاویر از اهمیت بالایی برخوردار می باشد، نقاط ویژگی با استفاده از الگوریتم تشخیص نقاط ویژگی در الگوریتم FAST استخراج خواهند شد و این نقاط با استفاده از عملگر لاپلاسی وزن داده شده<sup>۴</sup> بهینه سازی خواهد شد [۲۲]. و همچنین با استفاده از توصیف گر SURF قابلیت مقاومت در برابر چرخش و مقیاس را حفظ کرده و به نتیجه دلخواه در تطبیق تصاویر بصورت بلادرنگ دست یافته می شود.

در این بخش به معرفی روش های استخراج ویژگی و تطبیق الگو خواهیم پرداخت. در [۱۳] نمونه هایی از این الگوریتم ها نمایش داده شده است. به دلیل تنوع زیاد این نوع از الگوریتم ها و همچنین کاربرد های متفاوت آن ها و بعضا ضعیف در مقایسه با کاربرد این پژوهش، بررسی تمامی الگوریتم ها از حوصله این پژوهش خارج می باشد و تنها چند مورد از بهترین الگوریتم ها با توجه به کاربرد این پژوهش خواهیم پرداخت.

در ابتدا به تعریف دو مفهوم چهارچوب فضا-مقیاس<sup>۵</sup> و هرم تصویری<sup>۶</sup> می پردازیم.

**تئوری فضا-مقیاس:** چهارچوبی است برای نمایش چند مقیاسه سیگنال ها می باشد که یک تئوری معمول برای بررسی داده های تصاویر در مقیاس های متفاوت می باشد به این صورت که تصویر را به صورت گروهی از تصاویر تک پارامتری صاف<sup>۷</sup> شده نمایش می دهد. اصلی ترین نوع تئوری فضا-مقیاس، فضا-مقیاس خطی یا گاوسی<sup>۸</sup> می باشد چهارچوب فضا-مقیاس مربوطه، شامل تئوری عملگرهای مشتقگیر گاوسی می شود که مبنای عملگرهای مختلف بینایی ماشین می باشد. این چهارچوب به عملگرهای بینایی ماشین امکان این را می دهد که بتوانند مستقل از مقیاس عمل کنند. این کاربرد برای اشیاء در دنیای واقعی بسیار ضروری می باشد چرا که ممکن است مقیاس اشیاء متفاوت باشد و نیز فاصله بین شی و دوربین معمولا نامشخص یا متغیر می باشد. مفهوم فضا-مقیاس می تواند بر روی سیگنال هایی با تعداد متغیرهای گوناگون اعمال شود ولی معمول ترین حالت استفاده از این چهارچوب، استفاده از آن برای

<sup>1</sup> Laplace of Gaussian

<sup>2</sup> Haar wavelet

<sup>3</sup> Descriptor

<sup>4</sup> Weighted Laplace operator

<sup>5</sup> Scale-Space

<sup>6</sup> Image Pyramid

<sup>7</sup> Smoothed

<sup>8</sup> Gaussian

تصاویر دو بعدی می‌باشد. رابطه (۲-۲) بیان می‌کند که نمایش فضا-مقیاس خطی (گوسی) تصویر  $f(x, y)$  از کانولوشن تصویر  $f$  و گوسین  $g$  که در رابطه (۳-۲) نمایش داده شده، بدست می‌آید. [۲۳]

$$L(x, y; t) = g(x, y; t) * f(x, y) \quad (۲-۲)$$

$$g(x, y; t) = \frac{1}{2\pi t} e^{-(x^2+y^2)/2t} \quad (۳-۲)$$

که در تابع  $L$  اشاره می‌کند که کانولوشن فقط بر روی متغیرهای  $(x, y)$  اعمال می‌شود در حالی که پارامتر مقیاس  $t$  که بعد از  $;$  آمده بیان می‌کند عملیات در کدام مقیاس معین شده است. پارامتر مقیاس  $t = \sigma^2$  مقدار اختلاف فیلترهای گوسی است و محدوده آن  $t = 0$  است که فیلتر  $g$  را بی اثر می‌کند و مقدار آن برابر  $L(x, y; 0) = f(x, y)$  می‌شود به این معنا که با مقیاس  $t = 0$  نمایش فضا-مقیاس آن برابر تصویر اصلی می‌شود.



$t = 0$



$t = 1$



$t = 8$



$t = 64$

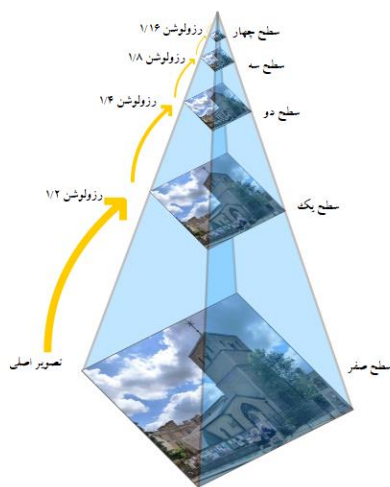
شکل ۲-۱۵- نمایش فضا مقیاس  $L(x, y; t)$  تصویر  $f$  در مقیاس‌های متفاوت

در رابطه (۲-۲)،  $L$  تصویر صاف<sup>۱</sup> شده است.  $g$  بیانگر عملگر گوسین می‌باشد و  $x$  و  $y$  مختصات مکانی هستند  $\sigma$  فاکتور مقیاس می‌باشد که مقدار صافی را تنظیم می‌کند که شکل (۲-۱۶) اعمال چهار مرحله کانولوشن گوسی را در چهار مقیاس نشان می‌دهد.

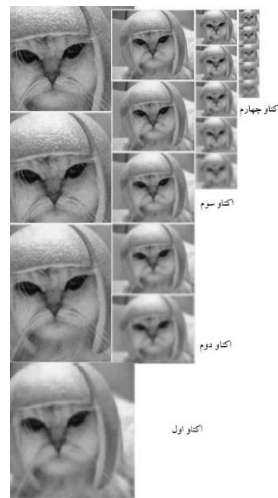
<sup>۱</sup> Blurred Image



**هرم تصویری:** هرم تصویری یا نمایش هرم تصویری نوعی از نمایش چند مقیاسه‌ای از سیگنال است به اینگونه که تصویر تحت تاثیر چند باره صاف شدگی<sup>۱</sup> قرار می‌گیرد هرم تصویری، قبل از نمایش فضا-مقیاس مورد استفاده قرار می‌گرفت. فیلتر پایین گذر هر می گونه ای از هرم تصویری می‌باشد به صورتی که تصویر در یک سیکل توسط یک فیلتر صاف کننده صاف می‌شود (معمولا با ضریب ۲) و نمونه برداری می‌شود. این فیلتر به صورت یک سیکل انجام می‌شود و هر عکس نسبت به عکس قبلی کوچکتر می‌شود و هر بار رزولوشن کاهش میابد و در صورتی که تمام تصاویر هرم را مانند شکل (۲-۱۷) به نمایش بگذاریم، تصاویر چند مقیاسه‌ای به صورت هرم در می‌آیند به طوری که تصویر اصلی در پایین و تصاویر کوچکتر به ترتیب در بالای تصویر اصلی نمود می‌کنند.<sup>۲</sup>



شکل ۲-۱۷ نمایش هرم تصویری



شکل ۲-۱۶ - چهار مرحله کانولوشن گاوسی

## ۲-۸-۱-۲-۲ الگوریتم SIFT

الگوریتم SIFT<sup>۳</sup> توسط Lowe در سال ۲۰۰۴ مطرح شد [۱۹] که مشکل چرخش تصاویر، تبدیل همگر<sup>۴</sup>، شدت نور<sup>۵</sup> و تغییرات نقطه دید<sup>۶</sup> را حل کرد. الگوریتم SIFT از چهار مرحله تشکیل شده است. این الگوریتم هم یک شناساگر و هم یک توصیف‌گر است که در مرحله اول بیشینه فضا-مقیاس با استفاده از اختلاف گاوسین<sup>۷</sup> (DOG) تخمین زده می‌شود، دوم نقاط کلیدی مکان‌یابی می‌شوند به این صورت که نقاط مورد نظر با حذف نقاطی با کنتراست پایین بدست می‌آیند، سوم، تعیین جهت‌گیری نقاط کلیدی با استفاده از گرادیان تصویر محلی می‌باشد و در نهایت، برای هر نقطه کلیدی، یک توصیف‌گر بر اساس گرادیان و جهت‌گیری تصاویر، در تصاویر محلی محاسبه می‌کند. الگوریتم SIFT، الگوریتم قدرتمندی است که نسبت به چرخش تصاویر، مقیاس شیء مورد نظر و تبدیل همگر مستقل عمل می‌کند با این وجود مشکل اصلی این الگوریتم این است که توان پردازشی بالایی را طلب می‌کند. رابطه (۲-۴) **Error!**

<sup>1</sup> Smoothing or Subsampling

<sup>2</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Pyramid\\_\(image\\_processing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Pyramid_(image_processing))

<sup>3</sup> Scale Invariant Feature Transform

<sup>4</sup> Affine

<sup>5</sup> Intensity

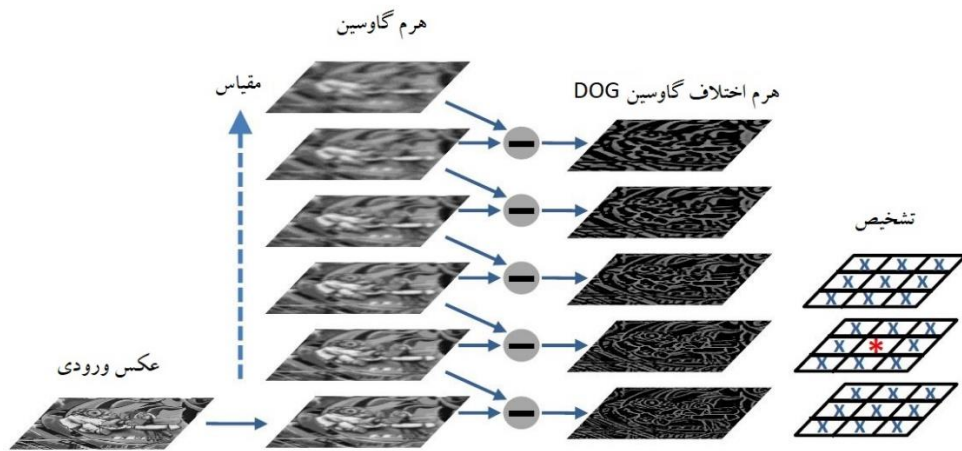
<sup>6</sup> Viewpoint

<sup>7</sup> Difference of Gaussian

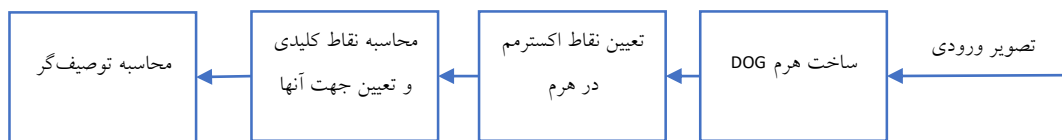
**Reference source not found.** اختلاف کانولوشن دو گاوین در مقیاس های متفاوت را از تصویر  $I(x, y)$  بدست می آورد.  $D$  تصویر اختلاف گاوین  $DOG$  را نشان می دهد.  $G$  بیانگر عملگر گاوین می باشد و  $x$  و  $y$  مختصات مکانی هستند  $\sigma$  فاکتور مقیاس می باشد که مقدار صافی را تنظیم می کند.

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) \quad (4-2)$$

شکل (۱۸-۲) شماتیکی از فرآیند عملکرد SIFT و شکل (۱۹-۲) فلوجارت عملیاتی SIFT را نشان می دهند.



شکل ۱۸-۲ - نمایش دیاگرام الگوریتم SIFT با استفاده از هرم ۶ لایه



شکل ۱۹-۲ - فلوجارت عملیاتی الگوریتم SIFT

## ۲-۸-۲-۲- الگوریتم SURF

الگوریتم SURF<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۶ توسط Herbert Bay پیشنهاد داده شد. این الگوریتم نیز مانند SIFT، به آنالیز گاوین در چهارچوب فضا-مقیاس تکیه دارد و هم یک شناساگر<sup>۲</sup> و یک توصیفگر<sup>۳</sup> نیز هست. الگوریتم Surf، به جای تخمین گاوین کل عکس از الگوریتم تشخیص حساب<sup>۴</sup> بر اساس ماتریس Hessian استفاده می کند که تصاویر درونی را استخراج می کند و سرعت تشخیص ویژگی های تصویر را افزایش می دهد [۲۰]. دترمینان ماتریس Hessian برای اندازه گیری تغییرات محلی حول نقطه ای که دترمینان بیشینه است استفاده می شود. دترمینان ماتریس Hessian،

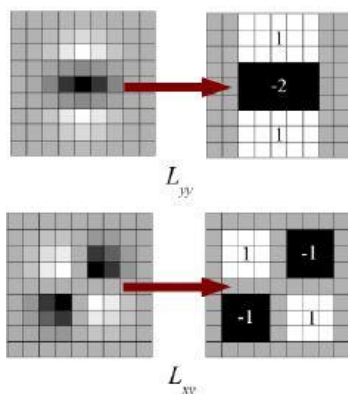
<sup>1</sup> Scale Invariant Feature Transform

<sup>2</sup> Detector

<sup>3</sup> Descriptor

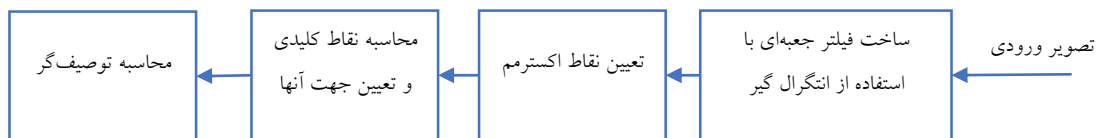
<sup>4</sup> Blob detector

برای انتخاب مقیاس تصویر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. ماتریس Hessian با فرض نقطه  $P = (x, y)$  در تصویر  $I$  با مقیاس  $\sigma$  در رابطه (۵-۲) نشان داده شده است که  $L_{ij}(p, \sigma)$  برابر با کانولوشن مشتق مرتبه دوم گausین تصویر  $I(x, y)$  می‌باشد. در الگوریتم SURF، محققان یک گام فراتر رفته و لاپلاس گausین را با استفاده از فیلتر جعبه‌ای تخمین می‌زنند که شکل (۲۰-۲) نمایی از این تخمین و شکل (۲۱-۲) فلوجارت عملیاتی الگوریتم SURF را نشان می‌دهد. مزیت بزرگ این تخمین این است که کانولوشن یک فیلتر جعبه‌ای می‌تواند به راحتی توسط انتگرال تصاویر بدست بیاید و به طور موازی با اندازه‌های مختلف تصاویر نیز محاسبه شود. نقاط مورد نظر ممکن است در تصاویر با مقیاسهای مختلف پیدا شوند. در الگوریتم‌های شناساگر دیگر، چهار چوب فضا-مقیاس معمولاً به عنوان هرم تصویری شناخته می‌شود. تصاویر به صورت مداوم توسط فیلتر گausین، فیلتر می‌شوند بعد از آن دوباره از آنها نمونه‌گیری می‌شود تا به مرحله بعدی هرم تصویری برسد.



شکل ۲۰-۲ - تخمین لاپلاس گausی با فیلتر جعبه‌ای

$$H(p, \sigma) = \begin{pmatrix} L_{xx}(p, \sigma) & L_{xy}(p, \sigma) \\ L_{yx}(p, \sigma) & L_{yy}(p, \sigma) \end{pmatrix} \quad (5-2)$$



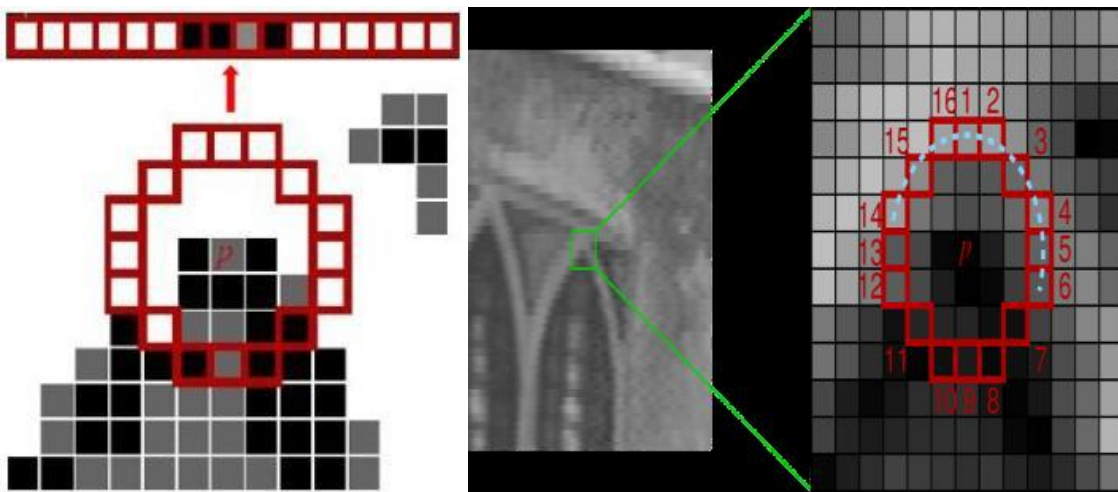
شکل ۲۱-۲ - فلوجارت عملیاتی الگوریتم SURF

### ۲-۲-۸-۳- الگوریتم FAST

این الگوریتم برای تشخیص لبه در پردازش تصاویر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این الگوریتم از یک دایره ۱۶ پیکسلی استفاده می‌کند برای دسته بندی اینکه آیا نقطه مورد نظر لبه می‌باشد یا خیر؟ همانطور که شکل (۲۲-۲) نشان می‌دهد فرض می‌شود پیکسل  $P$  با شدت نور  $I_p$  معین شده که هر پیکسل از ۱ تا ۱۶ به صورت ساعت گرد شماره

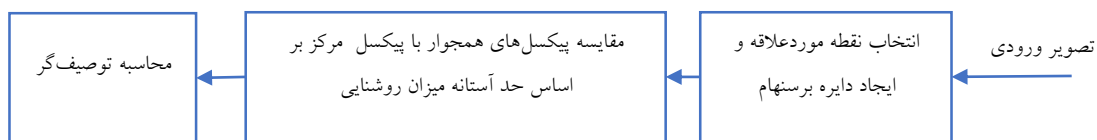
<sup>1</sup> Intensity

گذاری می‌شوند. پیکسل‌های انتخاب شده حول پیکسل اصلی دایره برسنهام<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. اول از همه برای افزایش سرعت پردازش، شدت نور پیکسل‌های ۱، ۵، ۹ و ۱۳ را با  $I_p$  مقایسه می‌کند و در صورتی که ۳ عدد از این نقاط آستانه مورد نظر را ارضا کردند نقطه  $P$  به عنوان کاندید انتخاب می‌شود. در مقابل در صورتی که این سه نقطه آستانه مورد نظر را ارضا نکنند، نقطه  $P$  لبه مناسبی نخواهد بود و در صورتی که ۳ عدد از این نقاط، مقدار آستانه را ارضا کردند تمام ۱۲ پیکسل همجوار را نیز مورد بررسی قرار می‌دهد و به همین صورت این فرآیند برای تمام پیکسل‌های درون تصویر انجام می‌شود. این روش محدودیت‌های خاصی دارد برای مثال انتخاب پیکسل‌ها کارآمد نیست و ممکن است چند ویژگی<sup>۲</sup> در فاصله نزدیکی از یکدیگر یافت شوند به همین دلیل رویکرد یادگیری ماشین به کار گرفته شد تا چنین مشکلاتی رفع شود. به این منظور مجموعه یادگیری<sup>۳</sup> ساخته شد که از نقطه  $P$  یک بردار با مقدار ۱۶ پیکسل اطراف آن ذخیره می‌کند. که رابطه هر پیکسل با پیکسل کناری آن می‌تواند سه حالت تیره تر، مشابه و روشن تر باشد که با توجه به دستوراتی که به آن داده می‌شود، بردار ویژگی  $V$  به سه زیر مجموعه  $P_s$ ،  $P_d$  و  $P_b$  تقسیم می‌شود. سپس یک الگوریتم طبقه بندی کننده<sup>۴</sup> اجرا می‌شود تا در نهایت نقطه ای را با توجه به آستانه آنتروپی<sup>۵</sup> به عنوان لبه شناسایی کند [۲۴].



الف- نقطه مورد نظر پردازش شده و ۱۶ پیکسل همجوار ب-نمایش ۱۶ پیکسل همجوار به صورت برداری

شکل ۲-۲۲ - نمایش ۱۶ پیکسل همجوار الگوریتم FAST



شکل ۲-۲۳- فلوچارت عملیاتی الگوریتم FAST

<sup>1</sup> Bresenham Circle

<sup>2</sup> Feature

<sup>3</sup> Training Set

<sup>4</sup> Classifier

<sup>5</sup> Entropy Criteria

در این الگوریتم گوشه ها از تقاطع رنگ ها روی سطح های نقش دار بدست می آیند. با هدف تشخیص مجموعه مطمئن و تکرارپذیر از ویژگی ها، آنها با استفاده از الگوریتم های گوشه یابی مانند Harris و SUSAN و FAST تشخیص داده می شوند. الگوریتم Harris یکی از پایدارترین الگوریتم ها در ارزیابی های مختلف شناسایی شده است. در عین حال الگوریتم SUSAN نسبت به الگوریتم Harris کارایی بالاتری را از خود نشان داده است. ولی نسبت به اختشاش تصویر حساس تر می باشد. الگوریتم FAST بهبود یافته الگوریتم SUSAN می باشد و از دقت بالاتری نسبت به آن برخوردار می باشد [۱۲]. این الگوریتم قطعا سریع ترین الگوریتم نسبت به بقیه می باشد که آنرا بهترین الگوریتم برای کاربرد های بلادرنگ معرفی می کند. در این الگوریتم تمرکز اصلی بر روی گوشه ها نسبت به لبه ها می باشد زیرا گوشه ها نسبت به لبه ها تغییرات بیشتری را نسبت به همسایه های خود دارا می باشد. در الگوریتم FAST از یک تابع عملکرد گوشه (CRF)<sup>۱</sup> استفاده می کند که مقدار شایستگی یک گوشه نسبت به همسایگان محلی خود را محاسبه می کند. این CRF بر روی کل تصویر محاسبه می شود و بهترین ماکسیموم محلی را بدست می آورد [۲۵].

## ۲-۸-۴-۲ الگوریتم ORB

در ORB<sup>۲</sup> ترکیبی از FAST و BRIEF می باشد [۲۶]. برای استخراج نقاط کلیدی از الگوریتم FAST استفاده شده تا با ساخت یک هرم تصویری از تصویر اصلی، الگوریتم مورد نظر، مستقل از مقیاس شود. در هر مقیاس از تصویر، الگوریتم FAST اجرا می شود و زمانی که نقاط کلیدی تشخیص داده شد، لبه های بدست آمده توسط الگوریتم Harris رتبه بندی شده تا بر اساس مقدار آستانه تعریف شده، رتبه های اول تا  $n$  لبه ها جمع آوری شوند. به این دلیل که الگوریتم BRIEF در مقابل چرخش تصویر نتایج قابل اطمینانی از خود نشان نمی دهد، برای اینکه الگوریتم مستقل از چرخش نیز شود، تغییراتی در الگوریتم BRIEF انجام شده است.

برای محاسبه جهت یک گوشه، از پارامتری به نام مرکز شدت نور استفاده می شود که اولین بار روزین<sup>۳</sup> آن را ارائه کرد [۲۷]. روزین رابطه (۶-۲) و (۷-۲) را برای محاسبه جهت گوشه بیان کرد.

$$m_{pq} = \sum_{x,y} x^p y^q I(x,y) \quad (6-2)$$

$$C = \left( \frac{m_{10}}{m_{00}}, \frac{m_{01}}{m_{00}} \right) \quad (7-2)$$

که  $m$  بیانگر مومنتوم تصویر می باشد که رابطه (۷-۲) بوسیله آنها مرکز شدت نور را بدست می آورد. جهت گوشه مورد نظر نیز توسط رابطه (۸-۲) بدست می آید.

$$\theta = \arctan(m_{01}, m_{10}) \quad (8-2)$$

<sup>1</sup> Corner response function

<sup>2</sup> Oriented FAST and Rotated BRIEF

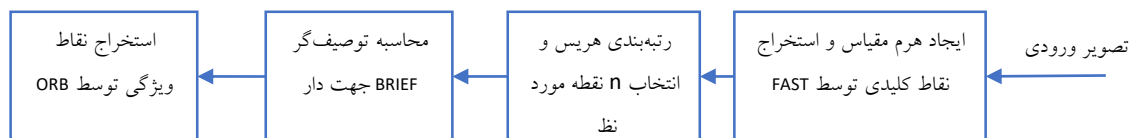
<sup>3</sup> Rosin

ORB با توجه به جهت‌گیری نقاط کلیدی، ماتریس دوران تصویر را بدست می‌آورد و برای هر دسته ویژگی مورد آزمایش در نقطه  $(X_i, Y_i)$ ، ماتریس  $2 * n$  مانند رابطه ساخته می‌شود. ماتریس موقعیت ویژگی‌های استخراج شده در رابطه (۹-۲) نشان داده شده است:

$$S = \begin{pmatrix} x_1 & \cdots & x_n \\ y_1 & \cdots & y_n \end{pmatrix} \quad (9-2)$$

$$S_{\theta} = R_{\theta} * S \quad (10-2)$$

که در رابطه (۱۰-۲)،  $S_{\theta}$  دوران یافته ماتریس  $S$  و  $R_{\theta}$  ماتریس دوران می‌باشند. در شکل (۲-۲۴) فلوجارت الگوریتم ORB نمایش داده شده است.



شکل ۲-۲۴- فلوجارت عملیاتی الگوریتم ORB

## ۲-۲-۸-۵- الگوریتم BRISK

با وجود اینکه ویژگی‌های محلی که با استفاده از توصیف‌گرهای بر پایه بردار مانند SIFT و SURF و روش‌های مشابه به خوبی عمل می‌کنند در حالی که نسبت به چرخش، مقیاس، جا به جایی و تغییرات نقطه دید مستقل عمل می‌کنند، استفاده از آنها ممکن است کاملاً به صرفه نباشد مخصوصاً زمانی که با دستگاههایی کار می‌کنیم منابع اندک پردازشی دارند و سیار هستند که هم از نظر پهنای باند و هم توان باطری محدودیت دارند. برای مواجه شدن با این چالش، انواعی از توصیف‌گرهای باینری معرفی شدند که BRISK<sup>۱</sup> نیز یکی از آنهاست. BRISK بر اساس FAST طراحی شده و به صورت کلی از سه بخش تشکیل شده است:

الف- الگوی نمونه برداری<sup>۲</sup>

ب- جبران جهت‌گیری<sup>۳</sup>

پ- جفت‌های نمونه‌گیری<sup>۴</sup>

الگوی نمونه برداری در BRISK کاملاً مشابه نقطه مرکزی و دایره ای از پیکسل‌های اطراف آن در الگوریتم FAST است که معین می‌کند نقطه مورد نظر لبه است یا خیر. به این الگوریتم AGAST<sup>۵</sup> گویند. که این الگوریتم همانند

<sup>1</sup> Binary Speeded Up Robust Features

<sup>2</sup> Sampling Pattern

<sup>3</sup> Orientation Compensation

<sup>4</sup> Sampling Pairs

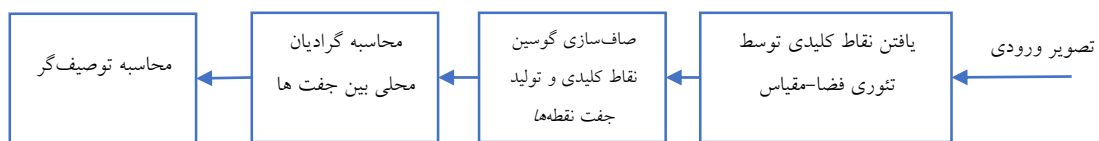
<sup>5</sup> Adaptive and Generic Accelerated Segment Test

FAST از AST<sup>۱</sup> استفاده می‌کند. بعد از نمونه‌گیری، به دو زیر مجموعه شامل جفت‌های دور و جفت‌های نزدیک تقسیم بندی می‌شوند.

$$S = \{(p_i, p_j) \mid \|p_j - p_i\| < \delta_{max}\} \quad (۱۱-۲)$$

$$L = \{(p_i, p_j) \mid \|p_j - p_i\| \geq \delta_{max}\} \quad (۱۲-۲)$$

برای اینکه الگوریتم مستقل از چرخش شود، جهت هر نقطه کلیدی نیز با استفاده از محاسبه گرادیان محلی<sup>۲</sup> بین جفت‌های دور و جفت‌های نزدیک انجام می‌شود. در آخر برای همه جفت نقطه‌ها، شدت نور نقطه اول و نقطه دوم مقایسه می‌شوند به این معنا که در صورتی که مقدار نقطه اول بزرگتر از نقطه دوم بود خروجی برابر "۱" خواهد شد در غیر این صورت خروجی برابر "۰" خواهد شد کاملاً شبیه الگوریتم BREIF. برای تطابق از الگوریتم Hamming استفاده می‌شود و فقط جمع XOR بین دو توصیف‌گر باینری برای تطابق دو تصویر کافی می‌باشد. در شکل (۲-۲۵) فلوجارت الگوریتم BRISK نمایش داده شده است.



شکل ۲-۲۵- فلوجارت عملیاتی الگوریتم BRISK

## ۲-۳- پیشینه تحقیق

در این بخش سعی بر آن است تا پژوهش‌های انجام شده، و پیشینه و سوابق پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته، و تحت عنوان سوابق تحقیق ارائه گردند. بدین جهت ابتدا تحلیل بر راه‌کارهای فرود و انواع آن مورد بررسی قرار گرفته و ارائه می‌گردد. و در ادامه به بررسی برخی از مهم‌ترین پژوهش‌ها در حوزه فرود خودکار پرداخته شده، و آن‌ها را از منظر پژوهش جاری و از دیدگاه مختلف حائز اهمیت در این پژوهش مورد بحث و بررسی قرار خواهیم داد. در انتها راه‌کارهای مطالعه و نقد شده تحت جداولی گردآوری و در یک چارچوب کلی دسته‌بندی و ارزیابی خواهند گردید.

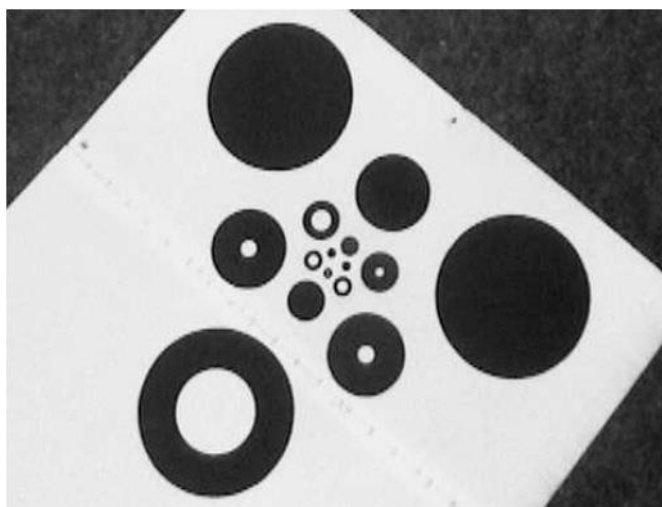
در سالیان اخیر تحقیقات زیادی پیرامون کنترل پهپاد با استفاده از پردازش تصویر و فرود خودکار دقیق بر روی هدف ثابت یا متحرک انجام پذیرفته است. در تحقیقات مختلف از وسایل سخت افزاری مختلفی استفاده شده است. فرود خودکار بالگرد های بدون سرنشین مبتنی بر بینایی از دیگر مسائلی است که طی سال های اخیر در مراکز معتبر علمی مورد تحقیق قرار گرفته است. تمرکز اولیه روی شناسایی و تعقیب هدف و سپس فرود دقیق روی آن از مسائل

<sup>۱</sup> Accelerated Segment Test

<sup>۲</sup> Local Gradient

چالش برانگیز می باشد. پس از انجام تحقیقات بسیار در مراکز مختلف علمی، سیستم تعقیب هدف از طریق بینایی و نشستن روی یک هدف متحرک ساخته شد، که هر کدام معایب و مزایایی را به همراه دارد. در ذیل به بررسی چند مورد از سوابق تحقیقات انجام شده در این زمینه خواهیم پرداخت.

آقای مرز و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقی با استفاده از تشخیص رنگ و الگوی تصویر عملیات فرود خودکار را بر روی بالگرد کوچک پیاده سازی کردند [۲۸]. در این تحقیق، از یک بالگرد به همراه یک برد کنترل کننده برخط و همچنین یک دوربین استفاده شده است. در این روش بر خلاف پژوهش های دیگر از سنسورهای خارجی مانند GPS استفاده نشده است. دوربین استفاده شده در این سیستم از دو درجه آزادی<sup>۱</sup> بهره مند می باشد و با استفاده از جابجایی آن هدف شناسایی خواهد شد. در این پژوهش از یک الگوی خاص برای فرود استفاده شده است که این الگوی ارائه شده برای تشخیص هدف ساده بوده و شناسایی آن سریع بوده است. استفاده از دوربین با دو درجه آزادی این امکان را ارائه می دهد که تغییرات رفتاری بالگرد در تصویر تاثیری نداشته باشد و همواره تصویر در زاویه مشخص شده نسبت به محل فرود ثابت بماند. موقعیت بالگرد و ارتفاع بالگرد با استفاده از تصویر و نشانگر محل فرود تخمین زده شده است. به منظور نمایش کارایی سیستم بینایی و کیفیت فرود، نتایج تست این روش بصورت واقعی و شبیه سازی ارائه شده است. در این روش از طراحی خاصی برای نشانگر محل فرود به منظور تشخیص سریع، تخمین موقعیت دقیق در فواصل طولانی و نزدیک، مقاومت در مقابل مقیاس و کمینه کردن عدم تقارن محل فرود، استفاده شده است. بهمین منظور نشانگر از دایره های سیاه بر روی پس زمینه سفید با چینش خاص استفاده شده است. همانطور که در شکل (۲-۲۶) مشاهده می کنید این دوایر بصورت یک مثلث در کنار هم چیده شده اند و با استفاده از بدست آوردن مراکز این دوایر موقعیت و زاویه پهپاد نسبت به نشانگر محاسبه می شود. در این روش از الگوریتم های محدوده یابی و تشخیص دایره و بیضی استفاده شده است و پس از یافتن مختصات مرکز آنها مختصات نسبی کل نسبت به پهپاد محاسبه می شود. نتایج و کارایی این تحقیق مطلوب بوده است.



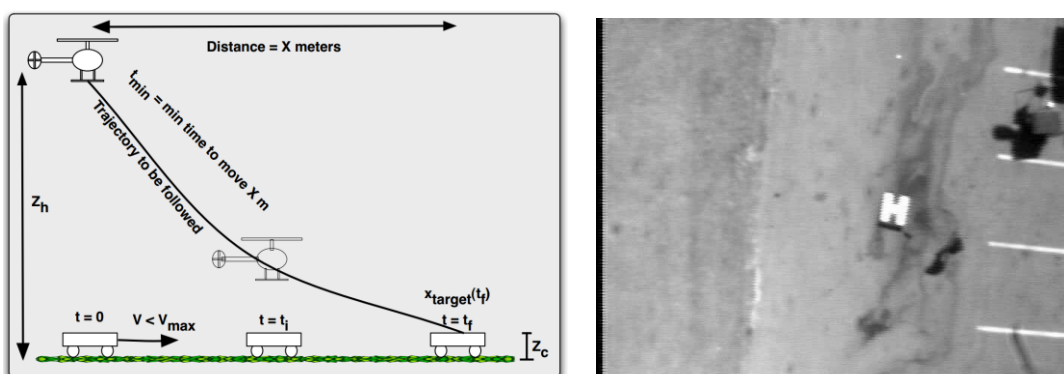
شکل ۲-۲۶ - نشانگر محل فرود با استفاده از ترکیب دایره های مشکی و سفید [۲۸]

<sup>۱</sup> Pan-Tilting Camera



آقای سیراپالی (۲۰۰۹) در تحقیقی با استفاده از یک بالگرد به‌مراه دوربین روی به پایین روی یک هدف متحرک فرود آمد [۲۹]. در این تحقیق مسیر حرکت از پیش تعیین شده است. از یک الگوریتم تطبیق الگو برای پیدا کردن هدف و ترکیب آن با الگوریتم مسیریابی برای فرود روی جسم متحرک استفاده شده است. همچنین برای تشخیص موقعیت هلیکوپتر و تعقیب هدف از فیلتر کالمن استفاده شده است. از یک کنترل کننده خطی مبنی بر مدل سینماتیک بالگرد برای مسیریابی و فرود استفاده شده است.

در این پژوهش تشخیص هدف در سه فاز انجام شده است. پیش پردازش، استخراج مدل هندسی هدف، تشخیص هدف و تخمین حالت بالگرد. در این روش ابتدا با استفاده از حد آستانه<sup>۱</sup> تصویر هدف، که یک  $H$  سفید رنگ شکل (۲-۲۷) با شدت نور بالا نسبت به محیط پس زمینه خود می باشد، و پیمایش سطری تصویر محدوده هدف در تصویر شناسایی می شود و سپس با استفاده از استخراج مدل هندسی به روش  $HU$ <sup>۲</sup> هدف شناسایی می شود. این روش در مقابل چرخش، انتقال و تغییر مقیاس مقاومت بالایی دارد. از معایب این روش به محدود بودن شکل هدف می توان اشاره کرد.



شکل ۲-۲۷- تصویر هدف H در راست و تخمین مسیر توسط الگوریتم مسیریابی و فیلتر کالمن در چپ [۲۹]

آقای ونزل و همکاران (۲۰۱۰) روشی را ارائه دادند که در آن از فرستنده و گیرنده امواج مادون قرمز استفاده شده است [۳۰]. در این روش با استفاده از دنبال کردن رد الگویی از LED های مادون قرمز مکانیابی انجام شده است. هدف اصلی این پژوهش معلق ماندن در بالای سر فردی که یک کلاه بر سر داشت و همچنین دنبال کردن وی توسط پهپاد بوده است. در این پژوهش از دوربین Wii Remote و از ۴ عدد LED مادون قرمز استفاده شده است. با توجه به نحوه چینش سنسور های مادون قرمز، حالت های مختلفی در تصویر ایجاد خواهد شد. این روش نیاز به پردازش زیادی ندارد و کار پردازش تصویر را سهولت می بخشد. با استفاده از روابط ساده ریاضی بین پهپاد و ۴ LED مادون قرمز براحتی مختصات پهپاد و مکانیابی انجام می پذیرد. بدلیل اینکه بازه توانایی ردگیری امواج مادون قرمز زیاد نیست در فواصل طولانی مشکلاتی را به‌مراه خواهد آورد.

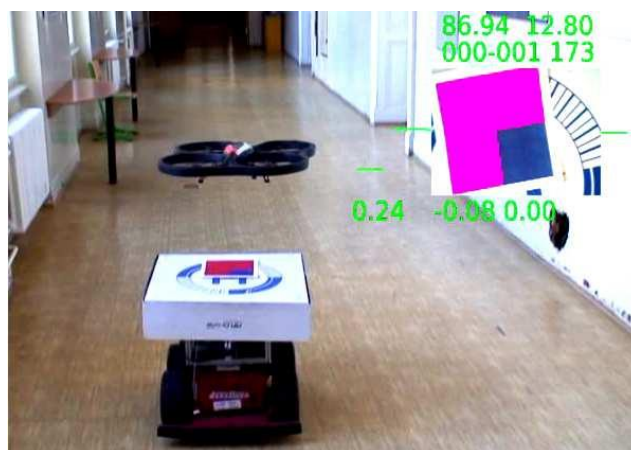
<sup>1</sup> Threshold

<sup>2</sup> Hu moments of inertia



شکل ۲-۲۸ - کلاه به همراه LED مادون قرمز (تصویر راست) - نحوه قرارگیری پهپاد نسبت به شخص (تصویر چپ) [۳۰]

آقای کراجنیک و همکاران (۲۰۱۲) در دانشگاه صنعتی پراگ، پلتفرم یک ربات به نام Ar.Drone را برای تحقیقات و آموزش رباتیک توسعه دادند و از روش تشخیص رنگ برای تشخیص هدف استفاده نمودند [۳۱]. در این پژوهش روش هایی برای پایداری موقعیت توسط بینایی ربات معرفی شده است. همچنین با استفاده از الگوی منحصر به فرد رنگی بر روی ربات زمینی موقعیت پهپاد پایدار شده است. در پژوهش انجام شده این نتیجه حاصل شده است که برای تعقیب جسم ارتفاع پروازی بالاتر از ۱.۵ متر مناسب می باشد. همچنین در این تحقیق از الگوریتم تطبیق الگو SURF به منظور موقعیت یابی و مسیریابی از طریق دوربین جلو در پهپاد استفاده شده است. در این روش به کمک اپراتور مسیر حرکت از قبل آموزش داده می شود. سپس در مراحل بعدی پهپاد با استفاده از الگوریتم تطبیق الگو SURF مسیر را تشخیص داده و در مسیر خود حرکت می کند.

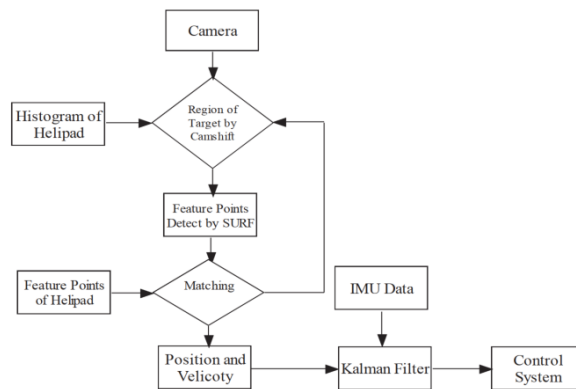


شکل ۲-۲۹ - تعقیب محل فرود متحرک رنگی [۳۱]

آقای ژائو و همکارش (۲۰۱۳) در پژوهشی در زمینه فرود خودکار و تشخیص هدف از الگوریتم بهینه شده SURF استفاده کردند [۳۲]. این روش از سه مرحله تشکیل شده است. در مرحله اول با استفاده از الگوریتم Camshift

محل هدف بر روی تصویر شناسایی می شود و سپس در مرحله دوم با استفاده از الگوریتم SURF نقاط ویژگی استخراج شده و در مرحله سوم با الگوی هدف تطبیق داده می شود. در مرحله پیش پردازش تصویر وردی به تصویر باینتری تبدیل می شود. سپس با استفاده از مورفولوژی<sup>۱</sup> اختشاش<sup>۲</sup> تصویر گرفته می شود.

الگوریتم CamShift یک الگوریتم تکرار شونده مبتنی بر رنگ می باشد که با استفاده از اطلاعات رنگ شیء مورد نظر در تصویر، به منظور دنبال کردن شیء استفاده می شود. این الگوریتم به صورت مرتب اجرا می شود تا به درستی به تشخیص حرکت پردازد. در این تحقیق بدلیل اینکه Camshift به اطلاعات رنگ حساس می باشد، ابتدا تصویر از فضای رنگ RGB به HSV تغییر می کند. در این پژوهش از رنگ سبز برای H استفاده شده است. الگوریتم Camshift از Mean-Shift استفاده می کند که در ابتدا مرکز هدف را تشخیص می دهد و سپس مقیاس و دوران هدف را محاسبه می کند.

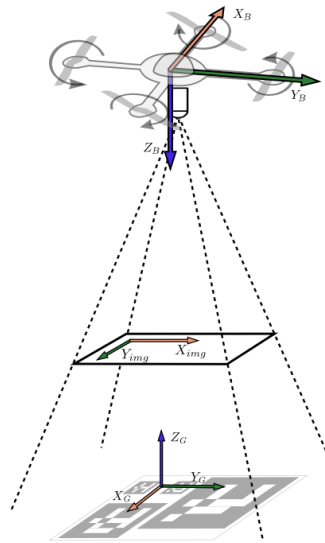


شکل ۲-۳۰ - فلوجارت روش پیشنهادی توسط Zhao و همکارش و تشخیص H توسط Camshift [۳۲]

آقای تیاگو گومس (۲۰۱۳) در پایان نامه خود توانست ثابت کند که تا زمانی که صفحات علامت گذاری شده را بتوان استفاده کرد می توان فرود اتوماتیک را در محیط های ناشناخته و کالیبره نشده انجام داد [۳۳]. او همچنان نشان داد که با استفاده از سنسورهای روی ربات این عملیات امکان پذیر است. در تحقیقات انجام شده، علائم نشانه گذاری ArUco برای تشخیص توسط ربات معمولا بسیار ساده بوده که در این تحقیق به بررسی امکان استفاده از علائم پیچیده تر نیز پرداخته خواهد شد. با استفاده از پردازش تصویر، موقعیت پهپاد نسبت به هدف تخمین زده شده و سپس با استفاده از کنترل کننده طراحی شده مسیریابی انجام می پذیرد.

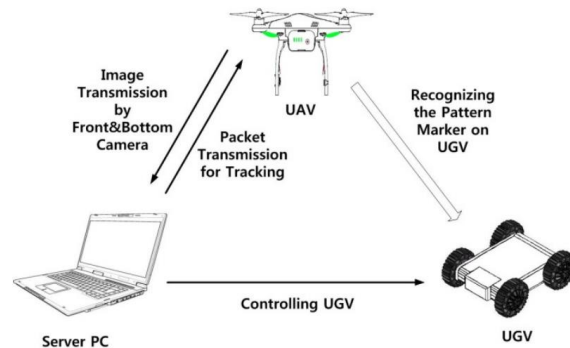
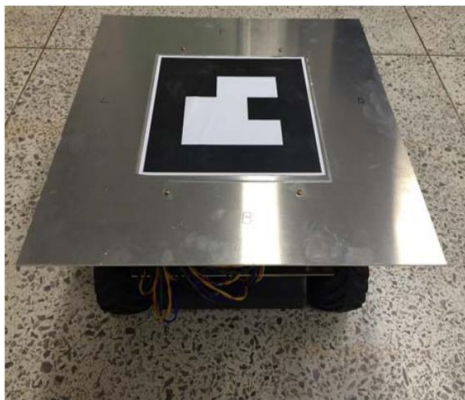
<sup>1</sup> Morphology

<sup>2</sup> Noise



شکل ۲-۳۱- استفاده از نشانگرهای ArUco به منظور تخمین موقعیت نسبی پهپاد [۳۳]

آقای لی و همکاران (۲۰۱۴) برای تخمین مکان ربات پرنده نسبت به ربات چرخ دار Mecanum از روش تشخیص نشانگر بر روی ربات چرخ دار استفاده نمودند. در این روش ترکیبی از UAV و UGV بکار برده شد. به این صورت که ربات UAV باید ربات UGV را دنبال کند. و به کمک آن مسیریابی انجام می گیرد. [۳۴]



شکل ۲-۳۲- استفاده از ربات زمینی به همراه نشانگر به منظور تخمین موقعیت پهپاد و مسیریابی [۳۴]

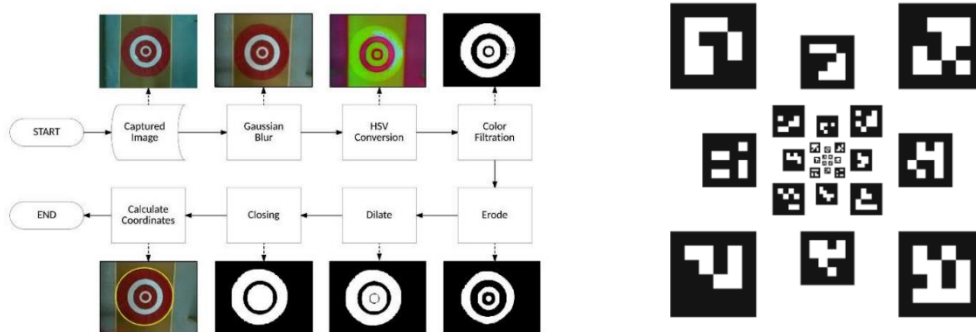
در این روش نشانگر نصب شده بر روی UGV توسط UAV تشخیص داده می شود. این روش همکاری بین دو ربات را نشان می دهد. در این پژوهش از کتابخانه OpenCV برای تشخیص نشانگر استفاده شد. آقای انگل و تیم تحقیقاتیش (۲۰۱۴) در تحقیقی با استفاده از الگوریتم تطبیق الگو FAST یک سیستم ناوبری بر اساس تصویر را پیاده سازی کردند. در این پژوهش مسیریابی و هدایت پهپاد کوچک و ارزان در یک محیط ناشناخته بررسی و انجام می شود. در این پژوهش استفاده از یک دوربین جلو برای تشخیص و مسیریابی استفاده می شود. از نشانگرها و GPS در این روش استفاده نمی شود. محاسبات بر روی ایستگاه مرکزی که یک لپتاپ قدرتمند می باشد انجام می شود. در این روش از فیلتر کالمن توسعه یافته استفاده می شود. [۳۵]

آقای بارتاک و همکاران (۲۰۱۴) در دانشگاه پراگ، روشی را مبتنی بر تشخیص رنگ برای فرود کوادکوپتر بر روی یک هدف مشخص پیاده سازی کردند [۳۶]. در این پژوهش از دو دایره رنگی برای تشخیص هدف استفاده می شود. سهولت تشخیص رنگ با استفاده از الگوریتم های پردازش تصویر از مزایای این روش می باشد. بدین منظور از کتابخانه OpenCV استفاده شده است.

آقای یانگ و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی از الگوریتم تطبیق الگو ORB برای تشخیص هدف استفاده کردند [۳۷]. در این پژوهش که با استفاده از PTAM<sup>۱</sup> موقعیت نسبی پهپاد تخمین زده می شود نقاط کلیدی برای تشخیص و تشکیل نقشه به دست می آید.

آقای یانگ و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی با استفاده از ترکیب پردازش تصویر و سنسور IMU و SRUKF<sup>۲</sup> عملیات فرود خودکار را پیاده سازی کردند [۳۸]. در این روش از نشانگر های ArUco استفاده شده است. از فیلتر SKUKF برای حذف خطاهای زاویه ای نسبت به هدف استفاده شد.

آقای آرار و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی از ترکیب نشانگر های ArUco و ایجاد الگویی از چند نشانگر استفاده کردند [۳۹]. استفاده از ترکیب چند نشانگر درصد اطمینان تشخیص صحیح محل فرود را بالا خواهد برد. در این پژوهش با استفاده از EKF موقعیت ربات تخمین زده می شود. مزیت این روش سرعت بالا و تخمین زدن زاویه هدف و ربات می باشد.



شکل ۲-۳۳- استفاده از ترکیب نشانگرهای ArUco [۳۹] شکل ۲-۳۴- استفاده از ترکیب رنگ و شکل در تشخیص هدف [۴۰]

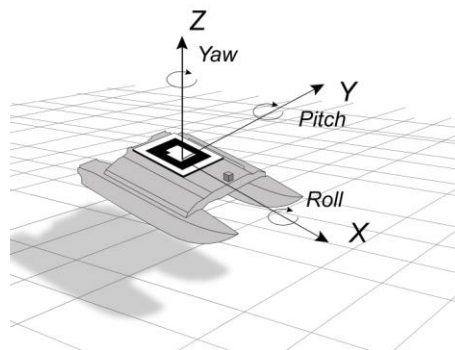
آقای هوانگ و همکاران (۲۰۱۷) در یک پژوهش از یک الگوریتم یادگیری نظارت شده برای تشخیص استفاده کردند [۴۱]. در این روش از دوربین رو به پایین در زیر پهپاد استفاده شد. در این روش از الگوریتم تطبیق ویژگی SIFT استفاده شد و نتایج خوبی حاصل شد. در این روش با استفاده از تکنیک خطی سازی بازخورد خطاهای پروازی به کنترل کننده ارسال شد و خطاها کمینه شد. در این تحقیق اثبات شد که مادامی که سرعت هدف از حدی بیشتر نباشد که از تصویر خارج شود بهینه است.

<sup>1</sup> Parallel Tracking and Mapping

<sup>2</sup> Square-Root Unscented Kalman Filter

آقای گوئه‌وارا و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی با استفاده از تشخیص هدف رنگی و بدون استفاده از GPS عملیات فرود خودکار را پیاده سازی کردند [۴۰]. در این تحقیق اهداف اصلی تشخیص هدف با استفاده از پردازش تصویر و تخمین ارتفاع پهپاد می باشد. در این تحقیق فرود با سرعت باد حداکثر ۲/۲ متر بر ثانیه با موفقیت انجام شده است. ارتفاع پهپاد با استفاده از پردازش تصویر و اندازه هدف در تصویر تخمین زده شده است. در این پژوهش از زبان برنامه نویسی پایتون و کتابخانه OpenCV استفاده شده است. از الگوریتم تشخیص لکه<sup>۱</sup> در این پژوهش استفاده شده است. سپس با استفاده از فیلتر گوسی و فضای رنگ HSV و تشخیص دایره هدف تشخیص داده می شود. در این پژوهش از یک پهپاد دست ساز با استفاده از Arduino و برد Raspberry Pi استفاده شده است. در آزمایشات انجام شده در این پژوهش، مشاهده شده است که دایره قرمز محل فرود در ارتفاعات پایین به درستی قابل تشخیص نیست. همچنین با تغییرات روشنایی در تصویر تشخیص دایره قرمز رنگ با مشکل مواجه شده است. که با اضافه کردن دایره های سفید رنگ در دایره قرمز رنگ تقریباً بر این مشکل غلبه شده است. همچنین در این پژوهش ارتفاع پهپاد با استفاده از محاسبه اندازه شعاع دایره محل فرود محاسبه شده است. در شکل (۲-۳۴) روش استفاده از ترکیب دایره و رنگ و تشخیص لکه در تشخیص هدف در این پژوهش، نمایش داده شده است. از معایب این روش می توان به استفاده از رنگ در تشخیص هدف اشاره کرد که این روش در برابر تغییرات روشنایی مقاومت زیادی ندارد و با مشکل مواجه خواهد شد.

آقای پلوارا و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی با استفاده از گذاشتن علائم بر روی یک قایق روی آب و تشخیص آن و همچنین با استفاده از EKF<sup>۲</sup> که موقعیت نسبی ربات را محاسبه می کرد، عملیات فرود را در شرایط جوی نامناسب انجام دادند [۴۲]. با توجه به اینکه محل فرود یک قایق است و نوسانات جوی و تغییرات زاویه محل فرود نسبت به افق وجود دارد، از این رو تشخیص درست زاویه قرارگیری پهپاد نسبت به محل هدف موضوع مهم می باشد. در این تحقیق با استفاده از پردازش تصویر و تشخیص موقعیت نشانگر روی قایق، زاویه آن با ۶ درجه آزادی بدست آمده است. با استفاده از EKF خطاهای موقعیت سنجی توسط پردازش تصویر کمینه می شود. آزمون های ارزیابی این روش در محیط دریایی شبیه سازی شده انجام گرفته است.



شکل ۲-۳۵- قرارگیری قایق نسبت به زمین [۴۲]

<sup>1</sup> Blob Detection

<sup>2</sup> Estimated Kalman Filter

نتایج این روش نشان می دهد که استفاده از EKF به اندازه کافی مناسب این روش می باشد و میتواند پهپاد را تا نزدیکی قایق هدایت کند تا نشانگر برای پهپاد نمایان شود. در این پژوهش با استفاده از مسافت سنجی تصویری<sup>۱</sup> و IMU در شرایط جوی نامناسب و بدون استفاده از GPS به نتایج مطلوبی دست پیدا کردند. در این پژوهش از کتابخانه ar\_pose استفاده شده است که خود آن نیز از کتابخانه ARToolkit مشتق شده است. از این کتابخانه در واقعیت افزوده به منظور ارتباط بین انسان و ماشین<sup>۲</sup> به وفور استفاده می شود. از محدودیت های این پژوهش می توان به استفاده از نشانگر های واقعیت مجازی اشاره کرد. نشانگر های واقعیت مجازی، نشانگر های دو بعدی کنتراست بالا<sup>۳</sup> هستند که به منظور مقاوم بودن در برابر تصاویر کیفیت پایین، چرخش تصویر، تغییر مقیاس و تغییرات نور و ... طراحی شده اند. بهمین دلیل در کاربرد های دریایی، مانند این پژوهش، کاربرد وسیعی دارند. زیرا که بدست آوردن جهت این نشانگر ها ساده تر و سریع تر می باشند. ولی استفاده از این نشانگرها در همه کاربردها مزیت محسوب نمی شود.

جدول (۱-۲) مقایسه مزایا و معایب روش های پیشین را نشان می دهد:

---

<sup>1</sup> Visual odometry

<sup>2</sup> Human-Computer interaction

<sup>3</sup> High Contrast

جدول ۲-۲- جمع بندی پژوهش های بررسی شده

ردیف	نویسنده	عملکرد	مزایا/معایب
۱	پُلوارا و همکاران (۲۰۱۸) [۴۲]	با استفاده از گذاشتن نشانگر ArUco بر روی یک قایق روی آب و تشخیص آن و همچنین محاسبه موقعیت نسبی پهپاد با استفاده از EKF	استفاده از EKF و ثبات در شرایط ناپایدار جوی محدود به نشانگر
۲	گونه‌وارا و همکاران (۲۰۱۸) [۴۰]	اهداف اصلی تشخیص هدف با استفاده از پردازش تصویر و تشخیص رنگ و تخمین ارتفاع پهپاد می باشد.	عدم استفاده از GPS حساس بودن رنگ به تغییرات روشنایی
۳	هوانگ و همکاران (۲۰۱۷) [۴۱]	استفاده از الگوریتم یادگیری نظارت شده برای تشخیص هدف	
۴	آرار و همکاران (۲۰۱۶) [۳۹]	استفاده از نشانگرهای ArUco	سرعت بالای تشخیص و تخمین زاویه و موقعیت - محدودیت نشانگر
۵	یانگ و همکاران (۲۰۱۵) [۳۸]	استفاده از ترکیب IMU و SRUKF و همچنین استفاده از نشانگر ArUco	استفاده از SRUKF حساس بودن به نویز
۶	یانگ و همکاران (۲۰۱۴) [۳۷]	در این پژوهش که با استفاده از PTAM موقعیت نسبی پهپاد تخمین زده می شود نقاط کلیدی برای تشخیص و تشکیل نقشه به دست می آید.	استفاده از الگوریتم تطبیق الگو ORB
۷	بارتاک و همکاران (۲۰۱۴) [۳۶]	استفاده از دو دایره رنگی و تشخیص الگو و رنگ آن ها	سهولت پیاده سازی و تشخیص حساس بودن رنگ به تغییرات روشنایی
۸	انگل و تیم تحقیقاتیش (۲۰۱۴) [۴۳]	استفاده از الگوریتم تطبیق الگو FAST و استفاده از EKF	عدم استفاده از GPS و نشانگر اضافه - استفاده از KF
۹	لی و همکاران (۲۰۱۴) [۳۴]	استفاده از تشخیص نشانگر ArUco و تشخیص رنگ	دقت بالا تشخیص موقعیت حساس بودن رنگ به تغییرات روشنایی
۱۰	تیاگو گومس (۲۰۱۳) [۴۴]	استفاده از نشانگرهای زیاد ArUco	دقت بالا تشخیص موقعیت استفاده از نشانگر های زیاد
۱۱	کراجنیک و همکاران (۲۰۱۲) [۳۱]	توسعه پلتفرم یک ربات برای تحقیقات و آموزش رباتیک و استفاده از روش تشخیص رنگ و SURF برای تشخیص هدف	استفاده الگوریتم تطبیق الگو SURF به منظور موقعیت یابی و مسیریابی
۱۲	ونزل و همکاران (۲۰۱۰) [۳۰]	استفاده از فرستنده و گیرنده امواج مادون قرمز	هزینه بر و خطاپذیر در صورت ایجاد نویز
۱۳	ساریپالی و همکارش (۲۰۰۹) [۲۹]	الگوریتم تطبیق الگو برای پیدا کردن هدف و ترکیب آن با الگوریتم مسیریابی، استفاده از یک کنترل کننده خطی مبنی بر مدل سینماتیک بالگرد برای مسیریابی و فرود	دقت بالا تعیین مسیر از پیش تعریف شده
۱۴	مرز و همکاران (۲۰۰۶) [۲۸]	تشخیص رنگ و الگوی تصویر	تشخیص سریع الگو الگوی ساده



در پژوهش‌های بررسی شده مانند ۱،۴،۵،۹ و ۱۰ از نشانگرهای ArUco استفاده شده است. از مزایای استفاده از این نشانگر میتوان به مواردی همچون، تشخیص جهت و زاویه دوران سه بعدی و تشخیص سریع نشانگر اشاره کرد. استفاده از این نشانگر در کاربرد های آزمایشگاهی بسیار موثر واقع خواهد شد. ولی در هدف این پژوهش که تصویر مختلف از هدف بعنوان ورودی استفاده خواهد شد کاربرد ندارد. در پژوهش های ۲، ۷، ۹ و ۱۴ از روش تشخیص رنگ استفاده شده است. عیب این روش این است که نسبت به تغییرات نور حساس می‌باشد و همچنین در صورت وجود چند شیئی رنگی در تصویر درصد تشخیص صحیح هدف کمتر می‌شود. در پژوهش ۳ از یادگیری نظارت شده استفاده شده است که این روش از روش های بهینه در حل مسائل می‌باشد ولی ایراد آن این است که به منابع پردازشی قوی نیازمند و وابسته می‌باشد. در روش های دیگر نیز که در محیط های آزمایشگاهی انجام شده اند از نشانگرها و ابزارهای کمکی برای مکان‌یابی هدف استفاده شده است که با توجه به ماهیت این پژوهش و کاربرد آن در محیط بیرون از آزمایشگاه، استفاده از نشانگرهای جانبی و ابزارهای جانبی امکان پذیر نمی‌باشد. بنابراین با توجه به اینکه تاکنون در پژوهش های پیشین از ترکیب الگوریتم‌های استخراج و تطبیق ویژگی بصورت صریح استفاده نشده است، به نظر می‌رسد استفاده از الگوریتم های استخراج و تطبیق ویژگی، به منظور تشخیص هدف و اشیاء در تصویر می‌تواند چالش بزرگ و اساسی در این زمینه باشد و استفاده از الگوریتم های پردازش تصویر در کنترل پهپاد ها موثر واقع خواهد شد. از آنجایی که از روش ترکیب الگوریتم‌های شناساگر و توصیف کننده در این کاربرد استفاده نشده است، در این پژوهش استفاده از ترکیب الگوریتم شناساگر FAST و توصیف کننده SURF و مقایسه آن با چند ترکیب دیگر، و بررسی نتایج حاصل از این ترکیب مورد تحقیق و بررسی انجام خواهد گرفت.

## ۲-۴- جمع بندی

در این فصل به تفصیل مباحثی در ارتباط با ادبیات پژوهش، روشهای تشخیص شیئی در تصویر و همچنین روش های رایج کنترل خودکار پهپاد بیان گردید. بررسی این مباحث، دلالت بر این مفهوم دارد که با پیشرفت علم و تکنولوژی استفاده از یکی از روشها کافی به نظر نمی رسد، به نحویکه ترکیب روشهای تشخیص، استخراج و مطابقت سریع ویژگی با روش های کنترلی و همچنین استفاده از ترکیب روش ها بر اهمیت بهبود کنترل پهپادها دلالت دارد. در ادامه و در پی بررسی های انجام گرفته مرتبط با عرصه های کاربردی کنترل خودکار پهپاد ها در پژوهش های پیشین، مشخص گردید که در تمامی این کاربردها مبحث مسیریابی و کنترل دقیق فرود و انجام عملیات بصورت خودکار بدون نیاز به اپراتور اساسی ترین مفهوم در این کاربردها به شمار رفته و بهبود این مبحث اساسی، بهبود عملکرد کلی و افزایش کارایی را به ارمغان خواهد آورد. ازین رو به نظر میرسد، با توجه به اینکه تاکنون در پژوهش های پیشین از ترکیب الگوریتمهای استخراج و تطبیق ویژگی استفاده نشده است، استفاده از الگوریتم‌های تشخیص، استخراج و تطبیق ویژگی، به منظور تشخیص هدف و اشیاء در تصویر میتواند یکی از چالش‌های بزرگ و اساسی در این زمینه باشد و استفاده از الگوریتم های پردازش تصویر در کنترل پهپاد ها موثر واقع خواهد شد.

## فصل سوم

### معرفی و ارائه روش پیشنهادی

#### ۳-۱- مقدمه

در این فصل به شرح راهکار پیشنهادی با ارائه جزئیات آن در راستای موضوع تحقیق و بر پایه مفاهیم بیان شده در فصلهای گذشته خواهیم پرداخت. بر همین اساس در ابتدا نیازمندیهای ضروری و پراهمیت تحلیل، بررسی و بیان خواهند گردید. تجزیه و تحلیل در حیطه این نیازمندیها و بررسی آنها از جنبه موضوع تحقیق در ارائه روشی کارا و بهینه دارای جایگاه ویژه‌ای بوده و ما را در رسیدن به اهداف پژوهش کمک شایانی خواهد نمود. با مطالعات و بررسی‌های انجام گرفته بر روی ویژگی و خصوصیات روش‌های پیشین و در آنچه تاکنون ارائه گردید؛ مشخص شد در این دسته از پژوهش‌ها به صورت کامل از الگوریتم‌های تشخیص ویژگی استفاده نشده است. تطبیق ویژگی‌های تصویر یکی از مهم‌ترین مباحث در زمینه ثبت تصویر<sup>۱</sup> و موزائیک<sup>۲</sup> است. با توجه به نیاز پردازش سریع و آنی بر روی پهپاد، استفاده از الگوریتم‌های استخراج ویژگی و تطبیق الگو سنتی و قدیمی کارآمد نمی‌باشد. ازین رو باید از روش‌های سریع‌تر و کارآمدتر استفاده کرد. روش‌های سنتی از لحاظ زمان بر بودن برای کاربرد پهپادها مناسب به نظر نمی‌رسند. در پژوهش‌های پیشین صرفاً کارایی راهکارهای تشخیص شیء بر اساس نقاط ویژگی مورد مطالعه قرار گرفته است و برای کاربرد‌هایی مانند رباتیک و بلادرنگ در نظر گرفته نشده است. برای مثال در [۱۲] نویسنده تمرکز خود را بر دقت روش‌ها با مقایسه زاویه دید، مقیاس و چرخش بنا نهاده است ولی بلادرنگ بودن الگوریتم‌ها

<sup>1</sup> Image Registration

<sup>2</sup> Mosaic

مورد توجه قرار نگرفته است. همچنین در [۴۵] تعدادی از شناساگرها مورد مقایسه انجام گرفته است و زمان اجرا و دقت آنها برای تصاویر با ابعاد مختلف مقایسه شده است. ولی این مقایسات در حالت ایده آل شکل گرفته و مشکلاتی مانند تغییرات روشنایی و تاثیر پس زمینه و ... در نظر گرفته نشده است. در [۴۶] تعداد ۶ الگوریتم تشخیص ویژگی برای یک کاربرد واقعی مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته است. که در این مقایسه شرایط محیطی نزدیک تر به واقعیت در نظر گرفته شده است.

ممکن است این سوال پیش بیاید که چرا در این پژوهش از راهکارهای یادگیری عمیق برای تشخیص شیء استفاده نشده است. در پاسخ به این سوال باید به این نکته اعتراف کرد که راهکارهای یادگیری عمیق بزودی در تمامی کاربردهای رباتیک و هوش مصنوعی جایگزین سایر روشها خواهد شد. ولی از آنجایی که در حال حاضر راهکارهای یادگیری عمیق نیازمند منابع زیاد و قوی برای تشخیص صحیح و بلادرنگ می باشد، و همچنین با توجه به اینکه در کاربرد رباتیک و بخصوص پهپادها بعلاوه کوچک بودن ابعاد ربات و همچنین محدود بودن منابع پردازنده های آنها رویکرد یادگیری عمیق در کاربردهای آنی فعلاً قابل استفاده نمی باشد. در آینده با پیشرفت تکنولوژی شاهد این امر خواهیم بود. با توجه به این موضوع، به نظر می رسد با استفاده از ترکیب الگوریتم استخراج ویژگی FAST و الگوریتم تطبیق ویژگی SURF بتوان به سرعت و دقت بالا، در تطبیق تصویر و تشخیص هدف، دست یافت. در این فصل پس از معرفی الگوریتم های استخراج ویژگی و تطبیق الگو، به معرفی روش پیشنهادی این پژوهش خواهیم پرداخت. در بخش (۳-۲) روش های استخراج ویژگی را معرفی خواهیم کرد. در بخش (۳-۳) به معرفی روش پیشنهادی این پژوهش و دلایل استفاده از این روش خواهیم پرداخت.

### ۳-۲- ضرورت اساسی در ارائه راه کار پیشنهادی

ارائه یک راه کار تشخیص بلادرنگ هدف با توجه به شرایط و خصوصیات منابع محدود در پهپادها از لحاظ زمانی کارآمد و مؤثر خواهد بود که برخی از ضرورت های کلیدی در نحوه عملکرد آن مدنظر قرارگیرد. براساس تحقیقات صورت گرفته در روش های استخراج ویژگی و تطبیق الگو در تصویر و تحلیل عملکرد و نیازمندی های آنها ضرورتها به شرح زیر می باشند:

- ۱- مصرف منابع کمتر: این اصل از مهم ترین اصول روش های پیشنهادی در حوزه استخراج و تطبیق ویژگی به شمار می رود. راه کار پیشنهادی پژوهش پیش رو به نحوی طراحی و توسعه خواهد یافت که نیاز به محاسبات سنگین و زمان بر نداشته باشد. راه کارهایی که به این صورت ارائه و توسعه می یابند، باعث افزایش سرعت تشخیص و کنترل پهپاد در راستای اجرای عملیات آن خواهند گردید. از این رو بدلیل طراحی پهپادها و ضعیف بودن منابع محاسباتی و دیگر خصوصیات آن نسبت به ربات های زمینی، ضرورت دارد تا راه کاری انتخاب گردد که از سرعت عملیاتی بالا و سربار محاسباتی پایین برخوردار باشند.
- ۲- استفاده از پیش پردازش و اعمال فیلترهای کمکی: به منظور سرعت بخشیدن به پردازش و بالابردن سرعت عملیاتی راه کار انتخابی، باید روش هایی بعنوان پیش پردازش بر روی تصویر اعمال شود و نواحی که

استعداد کمتری برای جستجوی ویژگی در آن‌ها وجود دارند در عملیات جستجو دخیل نباشند و از پردازش این نواحی باید اجتناب کرد. همچنین با توجه به ضرورت استفاده از تخمین زدن شکل هدف و اندازه و ابعاد آن در مرحله پیش پردازش میتوان از پردازش نواحی که شبیه به هدف نمی‌باشند اجتناب کرد و سرعت پردازش و تشخیص هدف را بهبود داد.

آنچه به عنوان ضرورت‌ها ارائه و بیان گردید، عواملی بوده که نیاز است تا در طراحی و عملکرد راه‌کار مطلوب منظور گردند. به واسطه رعایت این ضرورت‌ها، قابلیت‌های مورد انتظار از راه‌کار به نحوی مطلوب تأمین و فراهم گردیده، و در طی عملکرد آن و در شرایط مختلف، راه‌کار مورد نظر با شکست و افت سرعت پردازش مواجه نگردد.

### ۳-۳- چارچوب راه‌کار پیشنهادی

با توجه به پیچیدگی و حجم زیاد اطلاعات در تصاویر و همچنین خاص بودن استفاده از تصاویر در کاربردهای مختلف، یافتن و تطبیق ویژگی‌ها در تصاویر مشکل می‌باشد. بهمین منظور برای دستیابی به نتایج بهتر در تطبیق تصاویر، انتخاب الگوریتم مناسب از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. درحالت کلی تطبیق تصاویر به دو صورت خاکستری<sup>۱</sup> و برمبنی ویژگی<sup>۲</sup> انجام می‌پذیرد. در روش تطبیق خاکستری تصویر بصورت سیگنال‌های دوبعدی نگاشت می‌شود و با استفاده از روش‌های آماری سیگنال‌ها با هم تطبیق داده می‌شوند. در روش تطبیق برمبنی ویژگی، ویژگی‌های مختلفی نظیر نقاط، خطوط، گوشه‌ها، سطح‌ها و ... از تصویر استخراج می‌شوند. هر یک از این روش‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارند. برای مثال دقت روش تطبیق خاکستری بهتر می‌باشد ولی هزینه محاسباتی آن بسیار سنگین می‌باشد و روش تطبیق برمبنی ویژگی هزینه محاسباتی کمتر و نسبت به نویز مقاوم تر می‌باشد. شناساگرها به دو دسته شناساگر برمبنی گوشه و برمبنی لکه<sup>۳</sup> تقسیم می‌شوند. پیاده‌سازی‌های محاسباتی مختلف و پیکربندی‌های متفاوتی از شناساگرها و توصیف‌گرها می‌توان ایجاد کرد که این ترکیب‌ها می‌توانند نتایج مختلف را دربر داشته باشند. با توجه به این نکته امکان مقایسه دقت و سرعت اجرای آن‌ها مشکل تر می‌شود. از مهم‌ترین الگوریتم‌های تطبیق الگو می‌توان به SIFT و SURF اشاره کرد. الگوریتم SURF از یک شناساگر و یک توصیف‌گر داخلی تشکیل شده است. شناساگر این الگوریتم ماتریس Hessian می‌باشد. الگوریتم FAST از یک تابع عملکرد گوشه (CRF) استفاده می‌کند که مقدار شایستگی یک گوشه نسبت به همسایگان محلی خود را محاسبه می‌کند. سرعت عملکرد این تابع نسبت به ماتریس Hessian بسیار بالاتر و سریع‌تر می‌باشد. بهمین دلیل با استفاده از این تابع بعنوان شناساگر و ترکیب آن با توصیف‌گر SURF می‌توان به الگوریتمی دست یافت که از آن در کاربرد های بلادرنگ می‌توان استفاده کرد. همچنین با توجه به مقایسه ای که در پژوهش [۱۳] انجام شده است به نظر می‌رسد الگوریتم FAST در کاربردهای بلادرنگ رباتیک کارایی بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌های دیگر داشته باشد. با توجه به کاربرد این پژوهش که در آن اهمیت بلادرنگ بودن تشخیص هدف از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد، در این پژوهش از الگوریتم تطبیق ویژگی SURF

<sup>1</sup> Gray

<sup>2</sup> Feature-based

<sup>3</sup> Blob detector

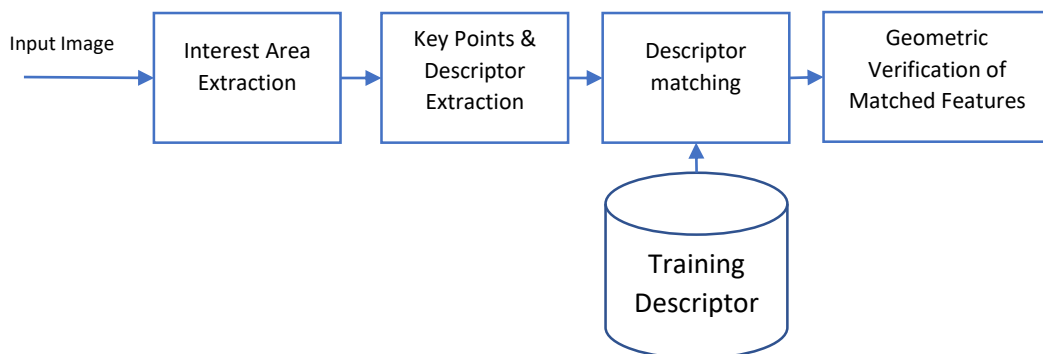
استفاده شده است. علی‌رغم اینکه الگوریتم SURF از دقت بالایی برخوردار می‌باشد ولی برای کاربرد های بلادرنگ قابل استفاده نمی‌باشد. بعلاوه استفاده از الگوریتم شناساگر Fast-Hessian در الگوریتم SURF، این الگوریتم گزینه مناسبی برای کاربرد های بلادرنگ نمی‌باشد. بهمین علت در این پژوهش از الگوریتم شناساگر FAST استفاده کرده و آنرا با Fast-Hessian جایگزین خواهیم کرد. الگوریتم FAST یک الگوریتم گوشه‌یابی می‌باشد. برترین مزیت آن نسبت به بقیه روش‌های بهینگی محاسبات آن می‌باشد. بدون شک، هدف اصلی FAST افزایش سرعت و سرعت محاسبات مورد نیاز برای تشخیص گوشه‌ها بوده است. الگوریتم SURF و FAST هر دو از الگوریتم های مناسب برای کاربردهای بلادرنگ به شمار می‌روند [۱۲].

تعریف الگوریتم FAST به این صورت می‌باشد که از تعدادی از پیکسل های متفاوت در محدوده های گوشه تشکیل شده است. که این پیکسل ها که به صورت دایره حول پیکسل کاندید می‌باشند با یکدیگر مقایسه می‌شوند و در نهایت با مقایسه و حد آستانه احتمال گوشه بودن پیکسل کاندید بررسی می‌شود. بدلیل استفاده از الگوریتم شناساگر FAST و تشخیص گوشه‌ها بجای لبه‌ها (که در الگوریتم SURF استفاده می‌شود) سرعت پردازش به صورت محسوس بهبود پیدا خواهد کرد. در این پژوهش از ترکیب الگوریتم شناساگر FAST و الگوریتم توصیف‌گر SURF به منظور بهبود کارایی و عملکرد بلادرنگ استفاده شده است. مراحل انجام عملیات به صورت زیر تعریف شده است:

(۱) آموزش شکل هدف، ارائه مسیر حرکت توسط اپراتور و پیمایش مسیر در ارتفاع مشخص شده.

(۲) تشخیص صحیح و سریع هدف توسط الگوریتم پیشنهادی.

(۳) انجام عملیات کنترل فرود خودکار بر روی هدف مورد نظر توسط کنترل کننده سیستم.



شکل ۳-۱- بلوک دیاگرام استخراج و تشخیص هدف

همانگونه که در شکل (۳-۱) بلوک دیاگرام استخراج و تشخیص هدف نشان داده شده است، بخش یافتن نواحی مستعد در تصویر بعنوان مرحله پیش پردازش در بلوک دیاگرام بعنوان نوآوری این پژوهش به شمار می‌رود. که استفاده از این مرحله پیش پردازش باعث نادیده گرفتن فضاهای اضافی در تصویر و در نتیجه سرعت بخشیدن به عملیات استخراج ویژگی‌ها و در نهایت سرعت بخشیدن به تشخیص هدف در تصویر منجر خواهد شد.

### ۳-۳-۱- آموزش شکل هدف و تعاریف اولیه

در مرحله اول، تنظیمات اولیه شکل هدف، ابعاد و خصوصیات انجام عملیات پرواز توسط اپراتور در پهپاد برنامه ریزی و تنظیم می‌گردد. در این پژوهش از تصویر شکل ۳-۲ به منظور هدف استفاده شده است.



شکل ۳-۲ - شکل هدف مورد نظر

همانطور که در شکل (۳-۲) مشاهده می‌شود، هدف مورد نظر دارای خصوصیتی مانند ابعاد مربع، زمینه سفید رنگ (رنگ قابل تغییر می‌باشد) و سایز  $1*1$  متر می‌باشد. به منظور تسریع در عملیات تشخیص از این خصوصیات استفاده می‌شود. از آنجایی که انجام عملیات فرود خودکار پهپاد و مشخص کردن محل فرود (هدف)، عملیاتی با کمک ناظر<sup>۱</sup> می‌باشد، اعمال گزینه های تشخیص دهنده بیشتر، منجر به سرعت بخشیدن به عملیات تشخیص هدف در الگوریتم پیشنهادی و مورد نظر می‌شود. بهمین دلیل از خصوصیات ابعاد مربعی، زمینه سفید و سایز هدف در الگوریتم پیشنهادی استفاده خواهد شد. با توجه به اینکه، با استفاده از حسگرهای استفاده شده بر روی پهپاد می‌توان ارتفاع پروازی پهپاد را بدست آورد و همچنین با انجام عملیات کالیبراسیون لنز دوربین و ارتفاع پرواز، می‌توان ابعاد مورد انتظار هدف را در حین پرواز محاسبه کرد. انجام این محاسبه منجر به کم کردن خطاهای احتمالی در تشخیص و فیلتر کردن موارد اشتباه در تشخیص خواهد شد. همچنین پس از محاسبه و تشخیص ابعاد و اندازه مورد انتظار اهداف مربعی شکل در تصویر، با استفاده از اعمال فیلتر پس زمینه سفید رنگ می‌توان اهدافی که از لحاظ ابعادی و اندازه مورد انتظار شبیه هدف مورد نظر هستند را بصورت بهینه تر استخراج کرد و بعنوان نواحی کاندید به الگوریتم پیشنهادی این پژوهش معرفی کرد. پس از انجام مراحل پیش پردازش و تعیین نواحی کاندید، این نواحی بعنوان نواحی مورد علاقه به الگوریتم پیشنهادی معرفی خواهد شد. مزیت مهم انجام این مرحله این است که نواحی اضافی تصویر که شبیه هدف تعیین شده نیستند، را پردازش نخواهد کرد و تعداد نقاط ویژگی کمتر و البته شبیه تر به هدف از تصویر استخراج خواهد شد. بنابراین افزایش محسوس در سرعت انجام عملیات قابل مشاهده خواهد بود.

<sup>۱</sup> Supervised

## ۲-۳-۲- تشخیص صحیح و سریع هدف توسط الگوریتم پیشنهادی

در حالت کلی، تشخیص شیء بر مبنی ویژگی دارای مراحل زیر می باشد:

- ۱) نقاط کلیدی و توصیف گرهای این نقاط بصورت مستقل از دو تصویر ورودی و تصویر مرجع (هدف) استخراج می شوند.
- ۲) توصیف گرهای استخراج شده توسط الگوریتم های تطبیق با یکدیگر تطبیق داده می شوند.
- ۳) تصدیق هندسی نقاط تطبیق داده شده بررسی و تایید می شوند و سپس مختصات شیء مورد نظر در تصویر استخراج می شود.

ولی در کاربرد خاص این پژوهش، تشخیص شیء بر مبنی ویژگی دارای مراحل زیر می باشد:

- ۱) گام اول: با استفاده از خصوصیات و ویژگی های هدف، تمامی اشیائی که از لحاظ ابعاد و پس زمینه و اندازه به نسبت ارتفاع پهباد قابل قبول می باشند بعنوان نواحی کاندید انتخاب می شوند. به منظور غلبه بر مشکلات مقیاس متفاوت، پس از تخمین زدن اندازه هدف، تصویر ورودی به اندازه تصویر تخمین زده شده تغییر اندازه خواهد داد.
- ۲) گام دوم: نقاط کلیدی و توصیف گرهای این نقاط بصورت مستقل از دو تصویر ورودی و تصویر مرجع (هدف) استخراج می شوند.
- ۳) گام سوم: توصیف گرهای استخراج شده توسط الگوریتم های تطبیق با یکدیگر تطبیق داده می شوند. به ازای هر توصیف گر در تصویر مرجع، توصیف گرهای با شباهت بیشتر از حد آستانه نسبت به تصویر مرجع در تصویر ورودی تطبیق داده خواهند شد.
- ۴) گام چهارم: تصدیق هندسی نقاط تطبیق داده شده بررسی و تایید می شوند و سپس مختصات شیء مورد نظر در تصویر استخراج می شود. تطبیق های انجام شده روی جفت توصیف گرها با جستجو در مجموعه نقاط کلیدی در تصویر مرجع و تطبیق با نقاط مشابه در تصویر ورودی و محاسبه تابع دوران/انتقال تشریح می شوند. برخی از این توابع دوران/انتقال ممکن است اشتباه باشند که با انجام تکنیک های تست توابع به کمک احتمال، توابعی که اشتباه هستند رد شده و حذف می گردند.

**گام اول:** در این گام، ابتدا تمامی نواحی کاندید در تصویر ورودی استخراج خواهند شد. نواحی کاندید برای

جستجوی نقاط ویژه در آن، باید شامل چند ویژگی باشند که به صورت زیر می باشند:

۱- دارای پس زمینه سفید رنگ.

۲- دارای ابعاد تقریبی مربعی شکل.

۳- دارای سایز متناسب نسبت به ارتفاع پهباد.

اعمال این فیلتر در بدست آوردن نواحی کاندید به راه کار ما کمک می کند که نواحی اضافی که دارای ویژگی

کمتر هستند را پردازش نکرده و سرعت عملکرد بهبود یابد. با توجه به رویکرد این پژوهش به منظور ارزیابی کارایی

الگوریتم پیشنهادی، این الگوریتم با الگوریتم های دیگر در همین کاربرد مقایسه خواهد شد. بدین منظور ۴ پیکربندی مختلف از این روش مورد بررسی قرار خواهد گرفت که به شرح زیر می باشند:

- ا. **حالت اول:** مقدار آستانه پیشفرض شناساگر/توصیف گر و عدم اعمال فیلتر نواحی کاندید.
- ب. **حالت دوم:** مقدار آستانه پیشفرض شناساگر/توصیف گر و اعمال فیلتر نواحی کاندید.
- ج. **حالت سوم:** مقدار آستانه متغیر شناساگر/توصیف گر و عدم اعمال فیلتر نواحی کاندید.
- د. **حالت چهارم:** مقدار آستانه متغیر شناساگر/توصیف گر و اعمال فیلتر نواحی کاندید.

سپس با استفاده از نتایج بدست آمده، تاثیر اعمال فیلتر نواحی کاندید و تغییر مقدار آستانه در عملکرد کلی این پژوهش، نتیجه گیری خواهد شد.

**گام دوم:** در این گام، با استفاده از الگوریتم شناساگر نقاط کلیدی از دو تصویر مرجع و تصویر ورودی استخراج خواهند شد. همانگونه که در گام اول نیز اشاره شده است، به منظور ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی نسبت به ترکیب شناساگر/توصیف گرهای رایج در این پژوهش مورد بررسی خواهند قرار گرفت. در این پژوهش از ترکیب شناساگر/توصیف گرهای رایج که به شرح ذیل می باشند، استفاده خواهد شد:

(۱) توصیف گر SIFT و شناساگر Hessian

(۲) توصیف گر SURF و شناساگر Hessian

(۳) توصیف گر BRISK و شناساگر AGAST

(۴) توصیف گر ORB و شناساگر FAST

(۵) توصیف گر SURF و شناساگر FAST (راهکار پیشنهادی این پژوهش)

نتایج ۵ ترکیب فوق در ۴ پیکربندی گام اول (در مجموع ۲۰ حالت) در بخش های بعد مورد بررسی و استنتاج قرار خواهند گرفت.

**گام سوم:** در این گام، به ازای تصویر مرجع (هدف) و تصویر ورودی، نقاط ویژگی توسط شناساگر استخراج خواهند شد و سپس در اختیار توصیف گر قرار می گیرد. پس از آن توصیف گر به ازای هر نقطه کلیدی استخراج شده یک توصیف گر ایجاد می کند. پس از ایجاد مجموعه توصیف گرها، این دو مجموعه باید برای مقایسه و تطبیق به الگوریتم دیگری واگذار شوند. این الگوریتم ها که تطبیق دهنده توصیف گر<sup>۱</sup> نام دارند، توصیف گرها را با یکدیگر مقایسه و تطبیق می دهند که توصیف گرها بردارهایی هستند که در فضاها<sup>۲</sup> چندبعدی ذخیره شده اند. در حالت کلی با مقایسه کلی تمامی جفت های احتمالی از توصیف گرها به نزدیکترین تطبیق ها خواهیم رسید. گرچه این راهکار در مواقعی که تعداد تصاویر مرجع زیاد شود نقش خود را به خوبی ایفا نخواهد کرد. بنابراین در این مواقع راهکار های جستجوی نزدیکترین همسایه<sup>۲</sup> به منظور یافتن نزدیکترین تطابق میان توصیف گرها می تواند مورد استفاده قرار گیرد. در روش پیشنهادی این پژوهش، به ازای تصویر مرجع (هدف)

<sup>1</sup> Descriptor Matchers

<sup>2</sup> Nearest neighbor search



و تصویر ورودی، نقاط ویژگی توسط الگوریتم FAST استخراج خواهند شد و سپس در اختیار توصیف‌گر SURF قرار می‌گیرد. پس از آن توصیف‌گر SURF به ازای هر نقطه کلیدی یک توصیف‌گر ایجاد می‌کند. در حالت کلی سه نوع الگوریتم تطبیق دهنده برای بدست آوردن شبیه‌ترین توصیف‌گر بصورت بهینه وجود دارند که به شرح ذیل می‌باشند:

(۱) الگوریتم جستجوی درختی (درخت KD)

(۲) الگوریتم Locality-sensitive hashing یا (LSH)

(۳) الگوریتم جستجوی جامع (Brute-force)

**الگوریتم جستجوی KD-Tree:** از الگوریتم جستجوی KD-Tree می‌توان برای ذخیره توصیف‌گرهای تصاویر مرجع استفاده کرد. با استفاده از جستجوی نزدیکترین همسایه بنام BBF می‌توان درخت را پیمایش کرد تا به گره برگ رسید. سپس این الگوریتم با استفاده از جستجوی بازگشتی تمامی شاخه‌های پیمایش نشده را به امید یافتن نتیجه بهتر از نتیجه بهینه جستجو می‌کند. می‌توان با استفاده از درخت‌های کوچکتر بصورت موازی استفاده کرد تا سرعت کارکرد الگوریتم بهینه‌تر شود [۱۳]. با استفاده از این الگوریتم هر جستجو دارای پیچیدگی  $O(k * \log(n))$  می‌باشد که  $k$  تعداد درخت‌های پیمایش شده و  $n$  تعداد توصیف‌گرهای ذخیره شده در درخت می‌باشد.

**الگوریتم LSH:** این الگوریتم با استفاده از دسته‌بندی داده‌های مشابه در دسته‌هایی با احتمال تشابه بسیار زیاد عمل می‌کند. بصورتی که تعداد این دسته‌ها بسیار کمتر از حالت‌های ممکن می‌باشد. از آنجایی که ایت‌های مشابه در دسته‌بندی‌هایی قرار می‌گیرند، این الگوریتم برای کاربردهای خوشه‌بندی و جستجوی نزدیکترین همسایه مناسب می‌باشد. بعبارت دیگر، این الگوریتم برای شکستن و کم کردن بعدهای داده‌ها با حفظ اندازه و فاصله داده‌ها از یکدیگر، بکار می‌رود. این الگوریتم دارای پیچیدگی زمانی  $O(k)$  می‌باشد و با توجه به پیچیدگی زمانی آن مشهود است که الگوریتم جستجوی درخت KD-Tree نسبت به الگوریتم LSH کارایی بهتری دارد [۱۳].

**الگوریتم جستجوی جامع:** در الگوریتم brute-force به ازای هر توصیف‌گر در تصویر هدف، نزدیکترین توصیف‌گر در تصویر ورودی با مقایسه یک‌به‌یک یافت می‌شود. این الگوریتم قابلیت ماسک کردن تطابق‌های مجاز از مجموعه تطبیق دهنده‌ها را داراست. در این الگوریتم از محاسبه فاصله همینگ بین توصیف‌گرها و مقایسه رشته تولید شده توسط تابع XOR استفاده می‌شود. این روش برای زمانی که تعداد توصیف‌گرها محدود باشند عملکرد سریع‌تر نسبت به الگوریتم KD-Tree دارد. این الگوریتم دارای پیچیدگی زمانی  $O(n)$  می‌باشد که در آن  $n$  تعداد توصیف‌گرها می‌باشد. این جستجو به دلیل تعداد مقایسه‌های زیاد و سعی و خطا کردن الگوریتم مناسبی برای استفاده نمی‌باشد. زمانی که اندازه پایگاه داده و تعداد توصیف‌گرها زیاد باشد این الگوریتم نسبت به KD-Tree عملکرد ضعیفی از خود نشان می‌دهد [۱۳].

در سال ۲۰۱۴ آقای Lowe و همکارانش الگوریتم FLANN<sup>۱</sup> را معرفی کردند که مشکل سرعت و دقت در الگوریتم‌های جستجو را تا حد زیادی بهبود داد. این الگوریتم از روش‌های بهینه‌شده برای جستجوی سریع نزدیک‌ترین

<sup>۱</sup> Fast Library for Approximate Nearest Neighbors

همسایه در مجموعه های بزرگ با ابعاد بزرگ از ویژگی ها استفاده شده است و نسبت به الگوریتم brute-force سرعت بهتری دارد. این الگوریتم برای زبان های برنامه نویسی C++ و Matlab و Python بخوبی پیاده سازی شده است. این الگوریتم در کتابخانه زبان برنامه نویسی پایتون و OpenCV با پیکره بندی های مختلف ارائه شده است. که می توان به FLANN\_INDEX\_KDTREE و FLANN\_INDEX\_LSH اشاره کرد. در این الگوریتم از مکانیزمی استفاده شده است که با توجه به مدل مجموعه داده ها پارامترها و الگوریتم مناسب انتخاب خواهد شد. با توسعه FLANN و کاربرد آن در مجموعه داده های بزرگ سرعت و عملکرد جستجو نسبت به الگوریتم های پیشین بهینه شده است. [۴۷]

پس از استخراج مجموعه ویژگی ها از تصویر ورودی و ایجاد مجموعه فواصل ویژگی های استخراج شده با ویژگی های مرجع، و با استفاده از مقادیر آماری میانه، میانگین و نما، تعدادی از ویژگی هایی که فاصله محاسبه شده آن ها از حدآستانه میانگین یا میانه کمتر باشند، حذف خواهند شد. بدین ترتیب تعداد زیادی از مقایسات بیهوده کسر خواهند شد. و همچنین دقت تطبیق ها بالاتر خواهد رفت.

همانگونه که در جدول (۳-۱) مشخص شده است، با استفاده از معیار های ارزیابی صحت و بازخوانی<sup>۱</sup> نتایج حاصل شده در این جدول نشانگر این است که در کاربردهای رباتیک مناسب ترین توصیف گرها SURF، SIFT، ORB و BRISK می باشند. [۱۳]

Descriptor	Detector	Precision	Recall	MAP
SURF	Fast Hessian	0.485	0.513	0.334
SIFT	Fast Hessian	0.525	0.533	0.491
BRIEF	Fast Hessian	0.517	0.546	0.514
ORB	Fast Hessian	0.448	0.470	0.437
BRISK	Fast Hessian	0.536	0.553	0.530
BRISK	BRISK	0.504	0.527	0.492
ORB	ORB	0.493	0.495	0.463
FREAK	FREAK	n/a	n/a	n/a
SIFT	FAST	0.366	0.376	0.336

جدول ۳-۱- نتایج مقایسه جفت شناساگر/توصیف گر های متداول [۱۳]

همانطور که در جدول (۳-۱) نمایش داده شده است، استفاده از ترکیب شناساگر Fast Hessian و توصیف گر SURF از روش های مناسب برای کاربرد رباتیک می باشد. اما این روش به دلیل سرعت نه چندان بالا و بلادرنگ نبودن در رابطه با این پژوهش قابل قبول نمی باشد. بنابراین در این پژوهش با جایگزین کردن شناساگر FAST بجای شناساگر Fast Hessian و استفاده از توصیف گر SURF به هدف اصلی این پژوهش یعنی تشخیص بلادرنگ هدف دست خواهیم یافت.

<sup>۱</sup> Precision and Recall

**گام چهارم:** در این گام، پس از تطبیق توصیف‌گرها و بدست آوردن مجموعه شباهت‌های میان توصیف‌گرها توابع دگرگونی<sup>۱</sup> توسط الگوریتم‌های مربوطه محاسبه و استخراج خواهند شد. محاسبه این توابع در تشخیص صحیح مکان و زاویه‌های هدف در تصویر ورودی مورد استفاده قرار خواهند گرفت. دو الگوریتم معروف برای محاسبه توابع دگرگونی، تبدیل هاف<sup>۲</sup> و الگوریتم RANSAC می‌باشند [۱۳].

**تبدیل هاف:** این تبدیل یکی از روش‌های آنالیز تصویر در پردازش تصویر دیجیتال می‌باشد. این روش در تصویر نمونه‌هایی از یک الگو جستجو می‌شوند. یافتن شباهت‌های بین توصیف‌گرها از چند پارامتر از جمله تابع انتقال  $(T_x, T_y)$ ، دوران  $\theta$  و مقیاس  $S$  تشکیل می‌شود. با استفاده از تبدیل هاف، می‌توان شباهت‌های بین توصیف‌گرها را در قالب  $\epsilon$  پارامتر تعریف کرد. به ازای هر تطبیق در گام سوم، هر تطبیقی که فاصله کمتر از حد آستانه داشته باشد قابل قبول می‌باشد و مابقی آن‌ها داده‌های خارج از محدوده قابل قبول<sup>۳</sup> می‌باشند. تبدیل هاف در یافتن داده‌های خارج از محدوده بهتر عمل می‌کند.

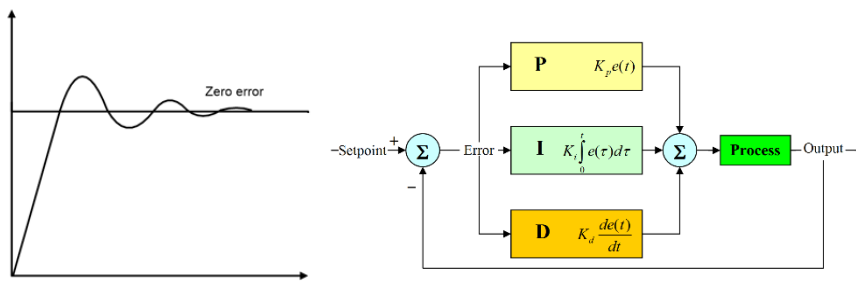
**الگوریتم RANSAC:** این الگوریتم به منظور حذف تطبیق‌های نادرست مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش نیز مانند تبدیل هاف، مقادیر در مدل استاندارد خود تعریف خواهند شد و با حد آستانه مقایسه خواهند شد در صورتی که از حد آستانه خود کوچکتر باشند مورد قبول واقع خواهند شد. این الگوریتم در زمان‌هایی که تعداد تطبیق‌های درست بیشتر از نصف تطبیق‌ها باشد کارایی مناسبی دارد. عیب این الگوریتم وابستگی آن به مقدار آستانه می‌باشد. تعیین مقدار آستانه مناسب در این الگوریتم امری بسیار مهم به شمار می‌رود چون اگر مقدار کوچک انتخاب شود نرخ تطبیق‌های درست کاهش و اگر بزرگ انتخاب شود تطبیق‌های نادرست افزایش می‌یابد.

پس از اعمال الگوریتم RANSAC، ممکن است مقداری از تطبیق‌ها صحیح نباشند. یکی از روش‌های معتبر روش آقای Lowe می‌باشد [۱۹]. در این روش تعداد تطابق کمتر از ۳ عدد مورد قبول واقع نخواهند شد. این روش از احتمال تطابق بالاتر از حد آستانه استفاده می‌کند یعنی تطابق‌هایی که کمتر از ۹۵٪ شباهت داشته باشند مورد قبول واقع نخواهند شد. بدیهی است که هرچه تعداد تشخیص‌های ناصحیح کمتر باشد، کارایی الگوریتم، سرعت و صحت الگوریتم بهبود خواهد یافت.

### ۳-۳-۳- عملیات فرود خودکار توسط کنترل‌کننده

به منظور پیاده‌سازی عملیات فرود خودکار، نیاز به استفاده از کنترل‌کننده مشهود می‌باشد. یکی از بهترین کنترل‌کننده‌های رایج در سیستم‌های رباتیک کنترل‌کننده PID<sup>۴</sup> می‌باشد. این کنترل‌کننده برای کاربرد های کنترل سرعت در سیستم‌های دارای نیروی محرکه می‌باشد. در شکل (۳-۳) شمای کنترل‌کننده PID نمایش داده شده است.

<sup>1</sup> Transformation  
<sup>2</sup> Hough transform  
<sup>3</sup> Outliers  
<sup>4</sup> PID Controller



شکل ۳-۳- شمای کنترل کننده PID

همانطور که در شکل (۳-۳) مشاهده می‌شود، این کنترل کننده از سه بخش تناسبی<sup>۱</sup>، انتگرال گیر<sup>۲</sup> و مشتق گیر<sup>۳</sup> تشکیل شده است. که هر بخش سیگنال‌های خطا را به عنوان ورودی گرفته و پس از انجام عملیاتی روی آن سیگنال، خروجی عملیات‌ها با هم جمع می‌شود. خروجی این مجموعه که همان خروجی کنترل کننده PID است برای اصلاح خطا به سیستم فرستاده می‌شود.

$$\text{Output}(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de}{dt} \right) \quad (۱-۳)$$

در بسیاری از کاربردها و در کاربرد این پژوهش نیز به علت حساسیت عبارت مشتق گیر نسبت به نویز و دشواری اجرا، از آن صرف نظر و کنترل را به صورت  $PI$  پیاده‌سازی می‌کنند. همچنین بدلیل اهمیت سرعت کنترل پهپاد توسط کنترل کننده از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد، از جمله انتگرال گیر نیز صرف نظر خواهد شد زیرا با استفاده از این جمله سرعت پاسخ کنترل کننده به سیستم پایین خواهد آمد. بنابراین در این پژوهش از یک کنترل کننده  $P$  بهره خواهیم برد. به این صورت که، هرچه خطای فاصله پهپاد تا هدف تشخیص داده شده بیشتر باشد، سرعت پهپاد نیز بیشتر خواهد بود. در این پژوهش ضریب  $K_p$  بصورت دستی و از طریق آزمون سعی و خطا و مشاهده رفتار سیستم محاسبه خواهد شد.

$$\text{Output}(t) = K_p * e(t) \quad (۲-۳)$$

<sup>1</sup> Proportional

<sup>2</sup> Integral

<sup>3</sup> Derivative

نهایتاً، عملیات فرود خودکار که نیز در شکل (۲-۱۱) نمایش داده شده است، به شرح ذیل می‌باشد:

- ۱) در حالت کلی پهپاد در حال جستجو برای یافتن محل هدف می‌باشد.
- ۲) پس از یافتن محل هدف و استخراج مختصات هدف در تصویر ورودی، مختصات جهانی محل هدف توسط ارتفاع و مختصات پهپاد در فضای سه بعدی، محاسبه خواهد شد.
- ۳) سیستم کنترل کننده توسط GPS غیر فعال خواهد شد و با استفاده از پردازش تصویر و کنترل کننده  $P$  پهپاد به سمت هدف هدایت خواهد شد.
- ۴) زمانی که ارتفاع به حداقل ارتفاع قابل رویت هدف توسط پهپاد برسد عملیات فرود تکرار خواهد شد.

### ۳-۴- جمع‌بندی

در ابتدای فصل دلیل و ضرورت ارائه راه‌کار پیشنهادی، در انجام عملیات فرود خودکار پهپاد، بیان گردید. در ادامه فصل و به منظور ارائه راه‌کار مطلوب و بهینه، معیارها، نیازمندی‌هایی که در طراحی راه‌کار مناسب در جهت پیاده سازی و بهبود موضوع پژوهش مورد نیاز می‌باشد معرفی شده و چگونگی تاثیر آن‌ها در راه‌کار پیشنهادی ذکر گردید. در فصل بعد به بررسی نتایج شبیه سازی و ارزیابی راه‌کار پرداخته خواهد شد.

## فصل چهارم

### شبیه سازی و ارزیابی ها

#### ۴-۱- مقدمه

با مطالعات و بررسی‌های انجام گرفته بر روی ویژگی و خصوصیات تصویر، مشخص شد که انتخاب الگوریتم‌های استخراج ویژگی و الگوریتم‌های تطبیق ویژگی یکی از مباحث مهم و اساسی در کاربرد بینایی ماشین و رباتیک به شمار می‌رود. در این پایان نامه، مدل پیشنهادی این پژوهش در قالب یک راه‌کار در فصل پیش ارائه گردید. راه‌کار ارائه شده به گونه‌ای در نظر گرفته شده است که با توجه به موضوع و بیان مسئله پژوهشی، تا حد امکان قابل توسعه و بهبود و همچنین در غلبه بر محدودیت‌ها در پژوهش‌های پیشین موثر واقع شود.

#### ۴-۲- توسعه روش پیشنهادی و شبیه سازی

پژوهش در زمینه رباتیک در سال‌های اخیر پیشرفت شگرفی داشته است. سخت افزارهای قابل اعتماد و ارزان رباتیک، از پهپادهای متحرک بر زمین تا کوادروتور و ربات‌های انسان نما، به صورت گسترده در دسترس می‌باشند. و البته محققین رباتیک الگوریتم‌های زیادی برای خودمختار نمودن ربات‌ها توسعه داده‌اند. با این وجود این پیشرفت سریع، در زمینه نرم افزار چالش‌های زیادی در رباتیک وجود دارد. یکی از بسترهای<sup>۱</sup> مناسب برنامه نویسی ربات‌ها سیستم عامل ربات (ROS) می‌باشد. ROS در سایت رسمی خود به این صورت تعریف شده است: ROS یک سیستم عامل رایگان با قابلیت کار بر روی چند سیستم عامل برای ربات است و سرویس‌هایی که شما از یک سیستم عامل

---

<sup>1</sup> Frameworks

انتظار دارید را فراهم می کند. ROS شامل شبیه ساز و تعریف سخت افزار، کنترل سطح پایین سخت افزار، پیاده سازی تعاریف عمومی و کاربردی، انتقال پیام های بین پردازش ها و توابع مدیریت پکیج ها می باشد. علاوه بر آن ROS شامل ابزار ها و کتابخانه هایی برای کامپایل کردن و نوشتن و اجرا کردن کد در چند کامپیوتر می باشد<sup>۱</sup>.

استفاده از ROS تنها گزینه پیش رو نیست و بسترهای دیگری همچون Player، YARP، Oroco، CARMEN، Orca، MOOS و Microsoft Robotics Studio برای توسعه ربات وجود دارند. در سالیان اخیر استفاده از ROS به دلیل مزیت های بسیار آن مرسوم واقع شده است. که از مزایای راس می توان به موارد زیر اشاره کرد:

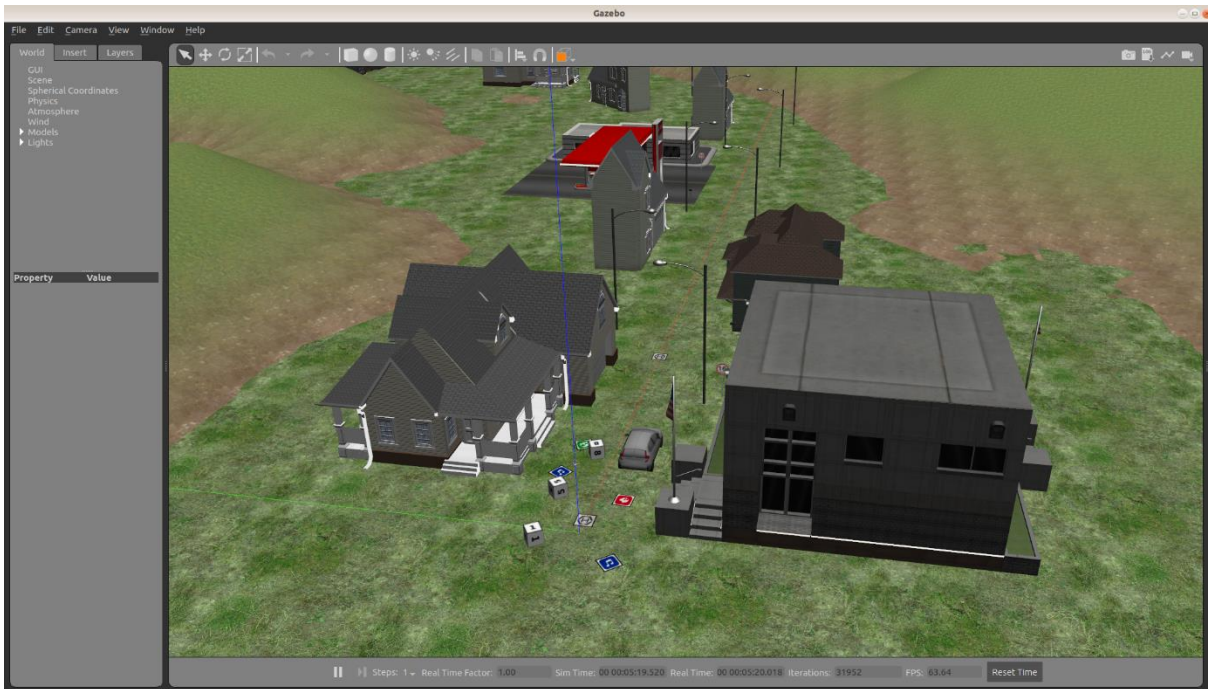
- ✓ متن آزاد<sup>۲</sup>
- ✓ عدم محدودیت زبان برنامه نویسی
- ✓ قابلیت انجام محاسبات توزیع شده
- ✓ استفاده دوباره از کدها (ایجاد بسته ها و کتابخانه ها)
- ✓ تست سریع و آسان
- ✓ قابلیت برقراری ارتباط با بسترهای دیگر
- ✓ قابلیت مقیاس پذیری
- ✓ سبک بودن هسته اجرایی ROS

بنابراین در این پژوهش از ROS برای شبیه سازی ربات استفاده شده است. استفاده از شبیه ساز ربات ROS این امکان را می دهد که همان کد تست شده در شبیه سازی را بدون تغییرات زیاد در محیط واقعی با ربات واقعی آزمایش کرد. در ROS دو شبیه ساز به نام های Gazebo و Rviz وجود دارند. در شبیه ساز Gazebo تمامی قوانین فیزیکی مطابق با دنیای واقعی قابل تعریف می باشد. در این شبیه ساز از رابط کاربری ساده و کاربرپسند استفاده شده است. در این پژوهش نیز از این محیط شبیه سازی استفاده خواهد شد. ROS در توزیع های مختلفی ارائه شده است. این پژوهش از توزیع Melodic نصب شده بر سیستم عامل اوبونتو نسخه ۱۸/۱۰ استفاده شده است. همچنین به منظور شبیه سازی ربات از بسته های rotors\_gazebo، rotors\_evaluation، rotors\_control، rotors\_comm، rotors\_simulator و rotors\_gazebo\_plugins استفاده شده است.

از مزایای استفاده از ROS نیز میتوان به سبک بودن هسته اجرایی ROS اشاره کرد. این مزیت در کاربردهای رباتیک، بخصوص پهپادها به دلیل اهمیت وزن، از مسائل قابل توجه می باشد. برای مثال، ROS می تواند براحتی روی کامپیوتر کوچک RaspberryPi 3 نصب و راه اندازی شود. در شکل (۴-۱) محیط شبیه سازی پهپاد در ROS و شبیه ساز Gazebo مشاهده می شود.

<sup>۱</sup> <http://wiki.ros.org/ROS/Introduction>

<sup>۲</sup> Open source



شکل ۴-۱- شبیه سازی ربات در Gazebo

همانطور که در فصل اول اشاره شد، ابتدا اپراتور مسیر پیشنهادی برای پیمودن را به پهپاد آموزش می دهد. در محیط شبیه سازی مسیر پیشنهادی در یک فایل متنی ذخیره می شود. آخرین نقطه ای که پهپاد به آن نزدیک می شود مختصات تقریبی هدف می باشد. زمانی که پهپاد هدف را (هرجا) تشخیص داد کنترل کننده فرود شروع به کار می کند و عملیات فرود خودکار شروع خواهد شد.

زبان برنامه نویسی این پژوهش برای شبیه سازی پهپاد زبان C++ می باشد و زبان برنامه نویسی برای پردازش تصویر و تشخیص هدف Python می باشد.

مشخصات محیط شبیه سازی برای راه اندازی شبیه سازی در جدول (۴-۱) نمایش داده شده است.

جدول ۴-۱- مشخصات محیط شبیه سازی و ابزارهای مورد نیاز

عنوان	نسخه
پردازنده	Asus VivoBook Pro N552vw Intel® Core™ i7-6700HQ
حافظه RAM	12GB
سیستم عامل	Ubuntu 18.10
ROS	Melodic
OpenCV	4.1.0
بسته های مورد نیاز	rotors_simulator, rotors_comm, rotors_control, rotors_evaluation, rotors_gazebo, rotors_gazebo_plugins



#### ۴-۳- ارزیابی نتایج شبیه سازی و تحلیل نتایج

در این بخش به عنوان بخش پایانی براساس آنچه گفته شده است، شبیه سازی ها صورت گرفته و نتایج مشاهده، مورد ارزیابی و مقایسه قرار خواهند گرفت تا عملکردها در غالب تصاویر و محاسبات کمیت ها، به صورت عینی قابل رویت و بررسی باشند.

#### ۴-۳-۱- مجموعه داده

به منظور انجام ارزیابی و نتیجه گیری از عملکرد راه کار پیشنهادی این پژوهش، با توجه به ماهیت پژوهش، به دلیل وجود حالت هایی که ممکن است در حین انجام عملیات اتفاق نیافتند، مجموعه داده ای<sup>۱</sup> از حالت های مختلف و ترکیب های مختلف از تصویر هدف و مکان پهپاد تشکیل شده است. بهمین منظور، هدف نسبت به پهپاد در ۳ حالت مختلف قرار داده شده است. این سه حالت شامل، زمانی که هدف در میدان دید پهپاد و دقیقاً زیر پهپاد باشد، هدف با فاصله در میدان دید پهپاد باشد، هدف در میدان دید پهپاد نباشد، می شود. هر کدام از این حالت ها در ۲۴ زاویه مختلف (۱۵ درجه) و در ۱۹ ارتفاع مختلف (فواصل ۵۰ سانتی متری) در نظر گرفته می شوند و تصاویر ذخیره خواهند شد و در نهایت ۱۳۶۸ تصویر تولید شده بعنوان مجموعه داده مورد استفاده قرار می گیرند. توسط مجموعه داده تولید شده بعنوان ورودی برنامه نوشته شده، تمامی این تصاویر مورد پردازش قرار خواهند گرفت و بصورت جداگانه ذخیره خواهند شد. سپس یک ناظر بر صحت عملکرد الگوریتم با استفاده از معیار های ارزیابی دقت و بازخوانی<sup>۲</sup> و امتیاز F1<sup>۳</sup>، نظارت و بررسی انجام خواهد داد.

#### ۴-۳-۲- معیارهای ارزیابی دقت و بازخوانی و امتیاز F1

به منظور ارزیابی عملکرد راه کار پیشنهادی، نتایج حاصل از اجرای الگوریتم بر روی مجموعه داده در فایل های جداگانه ذخیره خواهند شد. از آنجایی که این نتایج در حالت های مختلف دارای نتایج متفاوتی هستند، این نتایج به دسته های مختلفی تقسیم خواهند شد. این دسته بندی به ۴ دسته بندی زیر تقسیم می شوند:

- ✓ درست مثبت – TP<sup>۴</sup>
- ✓ درست منفی – TN<sup>۵</sup>
- ✓ نادرست مثبت – FP<sup>۶</sup> (خطای نوع یک)
- ✓ نادرست منفی – FN<sup>۷</sup> (خطای نوع دو)

<sup>1</sup> Dataset

<sup>2</sup> Precision & Recall

<sup>3</sup> F1-Score

<sup>4</sup> True Positive

<sup>5</sup> True Negative

<sup>6</sup> False Positive

<sup>7</sup> False Negative

در این پژوهش این معیارها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

- ✓ TP: هدف در تصویر باشد و تشخیص داده شده باشد.
- ✓ FP: هدف در تصویر نباشد و تشخیص داده شده باشد.
- ✓ TN: هدف در تصویر نباشد و تشخیص داده نشده باشد.
- ✓ FN: هدف در تصویر باشد و تشخیص داده نشده باشد.

این نوع دسته بندی از معتبرترین دسته‌بندی‌های در علم آمار و احتمالات و همچنین کلان‌داده<sup>۱</sup> می‌باشد. در جدول (۲-۴) ماتریس درهم ریختگی و مدل دسته بندی ۴ حالت نشان داده شده است.

جدول ۲-۴ - ماتریس درهم ریختگی

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)					
مثبت	منفی	نتایج بدست آمده (تشخیص H در تصویر)	مثبت	مثبت	FP
مثبت	منفی	نتایج بدست آمده (تشخیص H در تصویر)	منفی	مثبت	TN
منفی	مثبت	نتایج بدست آمده (تشخیص H در تصویر)	مثبت	منفی	FN
منفی	منفی	نتایج بدست آمده (تشخیص H در تصویر)	منفی	منفی	TP

به این جدول مهم که اساس تحلیل و ارزیابی کارایی یک مدل در مباحث دسته‌بندی است، ماتریس درهم‌ریختگی یا اغتشاش گفته می‌شود. در واقع ماتریس پراکندگی توزیع دسته‌ها را از لحاظ درستی یا نادرستی نمایش می‌دهد. جدول فوق یک ماتریس دو در دو را برای یک مساله دسته بندی دوگانی وجود داشتن یا نداشتن، را نشان می‌دهد. در حالت کلی برای یک مساله دسته‌بندی N حالتی، یک ماتریس پراکنش N\*N باید رسم شود. همانطور که مشخص می‌باشد، در حالت کلی ما بدنبال این هستیم که FP و FN یعنی موارد نادرست را کمینه یا صفر کنیم. اما در عمل اتفاق این امر کار مشکل و پیچیده ای می‌باشد و نیازمند استفاده از مکانیزم‌ها و معیارهایی برای بررسی دقت و صحت و کارایی مدل ایجاد شده از داده‌ها هستیم. [۴۸]

**معیار دقت:** این معیار از تعداد تشخیص‌های درست مثبت به کل تشخیص‌های مثبت محاسبه می‌شود. هرچه این سنجه به صفر نزدیکتر باشد، الگوریتم ضعیف تر عمل کرده است. همانگونه که از رابطه (۱-۴) مشخص است هرچه مقدار دقت نزدیکتر به ۱ باشد یعنی نرخ نادرست‌های مثبت کمتر می‌باشد. [۴۸]

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (۱-۴)$$

<sup>1</sup> Big Data

**معیار بازخوانی:** این معیار از تعداد تشخیص‌های درست مثبت به کل تشخیص‌های مثبت واقعی محاسبه می‌شود. در دسته بندی‌های دوگانه از این صحبت به نام حساسیت<sup>۱</sup> نام برده می‌شود. هرچه این سنجه به صفر نزدیکتر باشد، الگوریتم ضعیف تر عمل کرده است. همانگونه که از رابطه (۲-۴) مشخص است هرچه مقدار بازخوانی نزدیکتر به ۱ باشد یعنی نرخ نادرست‌های منفی کمتر می‌باشد. [۴۸]

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (۲-۴)$$

**معیار صحت:**<sup>۲</sup> این معیار از تعداد تشخیص‌های درست به کل داده‌ها محاسبه می‌شود. در دسته بندی‌های دوگانه اگر داده‌ها نامتوازن<sup>۳</sup> باشند این معیار به خوبی عمل نخواهد کرد. [۴۸]

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (۳-۴)$$

**معیار صحت متوازن:**<sup>۴</sup> این معیار از تعداد تشخیص‌های درست به کل داده‌ها محاسبه می‌شود. در دسته بندی‌های دوگانه بدلیل وجود داده‌ها نامتوازن این معیار بهتر عمل خواهد کرد. که در آن  $TPR$  همان معیار بازخوانی می‌باشد و  $TNR = \frac{TN}{TN+FP}$  می‌باشد. [۴۸]

$$Balanced Accuracy = \frac{TPR + TNR}{2} \quad (۴-۴)$$

**معیار امتیاز F1**<sup>۵</sup>: این معیار میانگین هارمونی برای دو مقدار بازخوانی و دقت می‌باشد. در این فرمول همانطور که مشاهده می‌کنید اگر یکی از دو مقدار عددی کوچک یا حتی صفر باشد، نتیجه نهایی عددی کوچک و یا صفر خواهد بود. چون دو معیار بازخوانی و دقت اعدادی بین صفر تا یک هستند و در صورت کسر در هم دیگر ضرب شده اند بنابراین نتیجه نهایی به سمت عدد کوچکتر، متمایل خواهد بود و اگر هر دو با هم، عددی بزرگ (نزدیک ۱) باشند، نتیجه نهایی به سمت یک حرکت خواهد کرد. [۴۸]

$$F1_{score} = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (۵-۴)$$

<sup>1</sup> Sensitivity

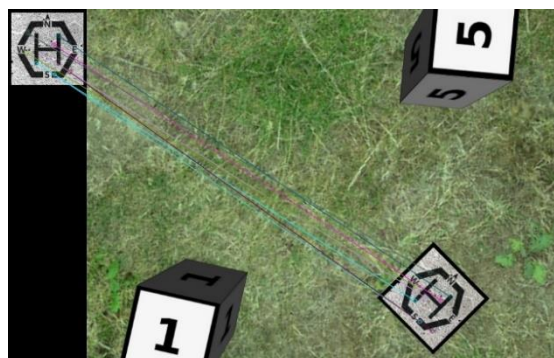
<sup>2</sup> Accuracy

<sup>3</sup> Imbalanced

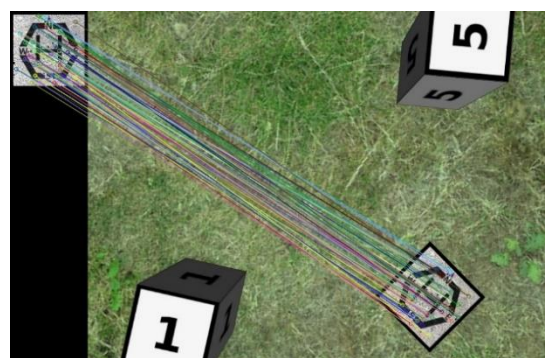
<sup>4</sup> Balanced Accuracy

<sup>5</sup> F1-Score

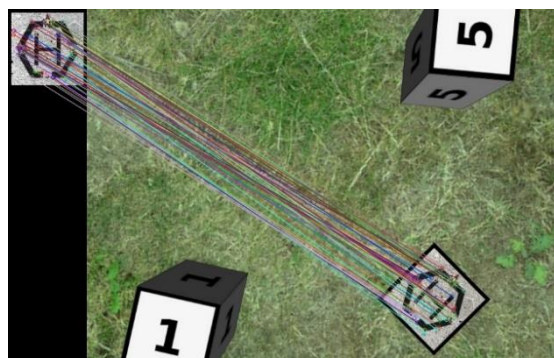
در بخش‌های بعد بر اساس آنچه که معیارهای ارزیابی نامیده شده‌اند، شبیه‌سازی‌ها صورت گرفته و نتایج مشاهده و مورد ارزیابی و مقایسه قرار خواهند گرفت تا عملکردها در غالب تصاویر و محاسبات کمیت‌ها، به صورت عینی قابل رویت و بررسی باشند. همانگونه که در بخش‌های قبل اشاره شده است، در این بخش به منظور ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی نسبت به ترکیب شناساگر/توصیف‌گرهای رایج در این پژوهش مورد بررسی خواهند قرار گرفت. نتایج این ترکیب‌ها در ادامه به تفصیل مورد ارزیابی قرار گرفته است. در شکل (۴-۲) تصویر نمونه‌ای از هدف نمایش داده شده است. این تصاویر نشان‌دهنده این است که در هر ترکیب تعداد نقاط ویژگی و تطبیق‌ها با یکدیگر متفاوت می‌باشند.



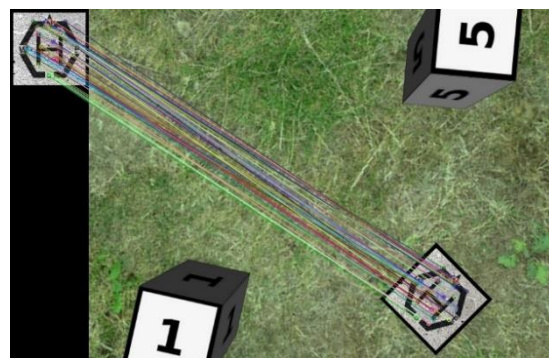
Hessian / SURF



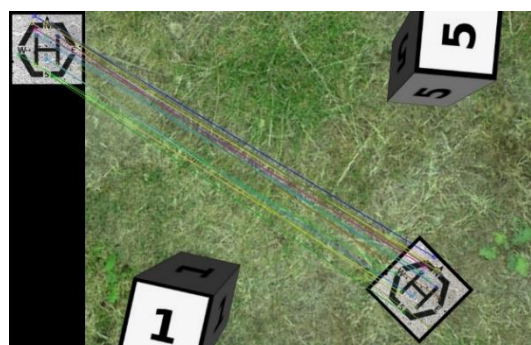
Hessian / SIFT



FAST / ORB



AGAST / BRISK



FAST / SURF

شکل ۴-۲- نمونه‌ای از تطبیق ۵ ترکیب

### ۴-۳-۳- شناساگر Hessian و توصیف گر SIFT :

این ترکیب در ۴ حالت با پیکربندی های مختلف تست گردید. نتایج حاصل به شرح ذیل می باشد:

#### ۱) نتایج مقدار آستانه پیشفرض و عدم اعمال فیلتر نواحی کاندید برای ترکیب Hessian / SIFT

در این حالت، مقادیر پارامتر های ورودی به ازای حد آستانه Hessian متغیر  $nfeatures = 400$  و متغیر تعداد لایه ها  $nOctaveLayers = 1$  تنظیم شده اند. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۳) بدست آمده است:

جدول ۴-۳- نتایج حالت اول ترکیب Hessian / SIFT

مقدار	معیار
0.9294	دقت
0.9965	بازخوانی
0.7825	صحت متوازن
0.9617	امتیاز F1
244.04	زمان(ثانیه)
178.39	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
5.60	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=88	TP=1160	مثبت	نتایج بدست آمده
TN=116	FN=4	منفی	(تشخیص H در تصویر)

#### ۲) نتایج مقدار آستانه پیشفرض و اعمال فیلتر نواحی کاندید برای ترکیب Hessian / SIFT

در این حالت، مقادیر پارامتر های ورودی به ازای حد آستانه Hessian متغیر  $nfeatures = 400$  و متغیر تعداد لایه ها  $nOctaveLayers = 1$  تنظیم شده اند. در این حالت فیلتر نواحی کاندید نیز اعمال شده است. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۴) بدست آمده است:

جدول ۴-۴- نتایج حالت دوم ترکیب Hessian / SIFT

مقدار	معیار
0.9294	دقت
0.9965	بازخوانی
0.7825	صحت متوازن
0.9617	امتیاز F1
217.7	زمان(ثانیه)
159.13	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
6.28	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=88	TP=1160	مثبت	نتایج بدست آمده
TN=116	FN=4	منفی	(تشخیص H در تصویر)

### ۳) نتایج مقدار آستانه متغیر و عدم اعمال فیلتر نواحی کاندید برای ترکیب Hessian / SIFT

در این حالت، مقادیر پارامترهای ورودی با تغییرات ارتفاع متغیر بوده و مطابق با تغییرات ارتفاع تنظیم شده‌اند. به ازای مقدار حد آستانه Hessian متغیر  $100 \leq nfeatures \leq 400$  و متغیر تعداد لایه‌ها  $nOctaveLayers = 1$  تنظیم شده‌اند. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۵) بدست آمده است:

جدول ۴-۵- نتایج حالت سوم ترکیب Hessian / SIFT

مقدار	معیار
0.9731	دقت
0.9965	بازخوانی
0.9205	صحت متوازن
0.9846	امتیاز F1
216.18	زمان (ثانیه)
158.02	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
6.32	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=32	TP=1158	مثبت	نتایج بدست آمده
TN=174	FN=4	منفی	(تشخیص H در تصویر)

### ۴) نتایج مقدار آستانه متغیر و اعمال فیلتر نواحی کاندید برای ترکیب Hessian / SIFT

در این حالت، مقادیر پارامترهای ورودی با تغییرات ارتفاع متغیر بوده و مطابق با تغییرات ارتفاع تنظیم شده‌اند. به ازای مقدار حد آستانه Hessian متغیر  $100 \leq nfeatures \leq 400$  و متغیر تعداد لایه‌ها  $nOctaveLayers = 1$  تنظیم شده‌اند همچنین فیلتر نواحی کاندید در این حالت اعمال شده است. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۶) بدست آمده است:

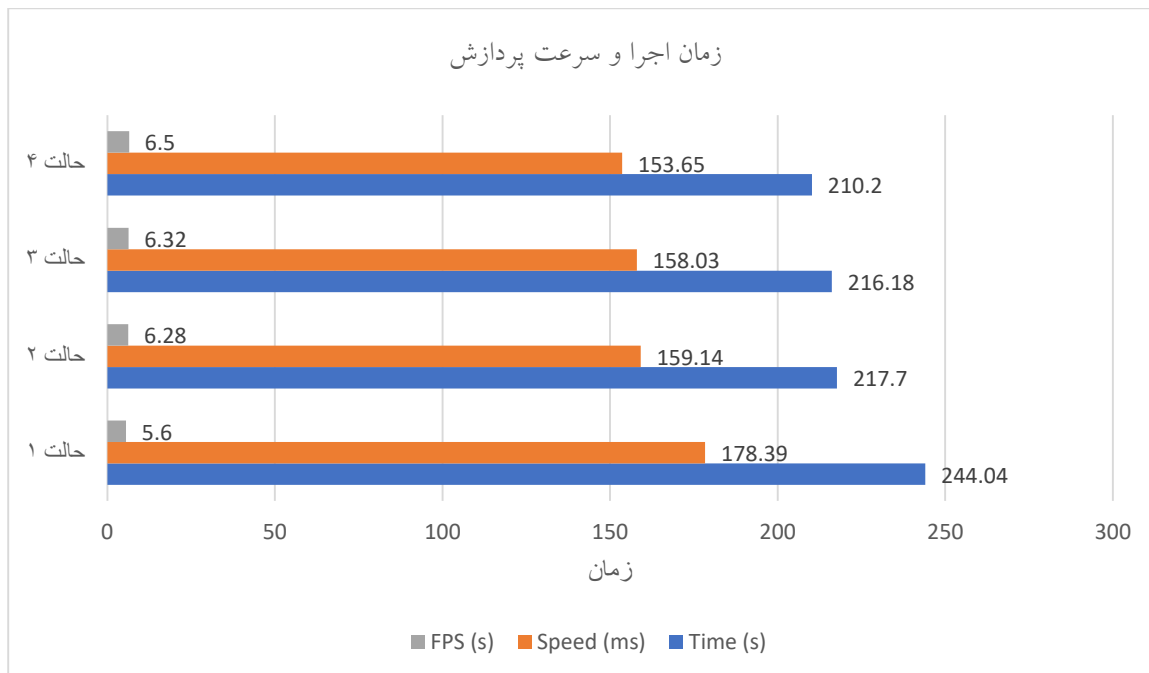
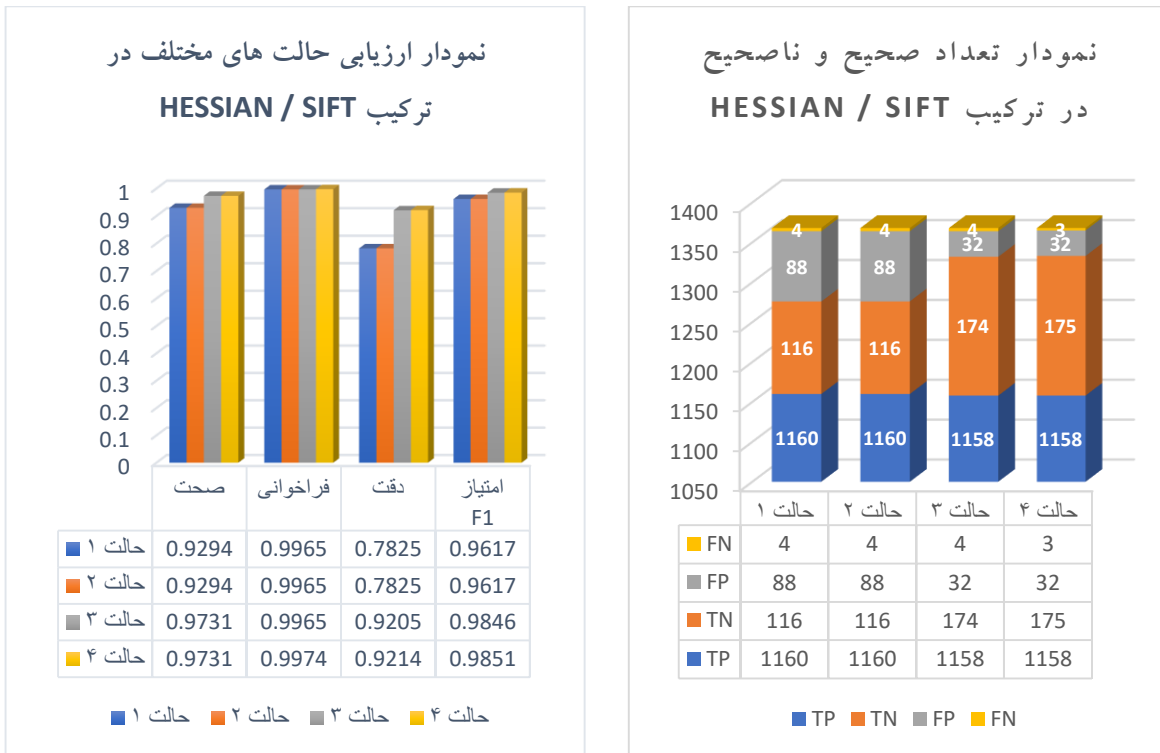
جدول ۴-۶- نتایج حالت چهارم ترکیب Hessian / SIFT

مقدار	معیار
0.9731	دقت
0.9974	بازخوانی
0.9214	صحت متوازن
0.9851	امتیاز F1
210.2	زمان (ثانیه)
153.65	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
6.5	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=32	TP=1158	مثبت	نتایج بدست آمده
TN=175	FN=3	منفی	(تشخیص H در تصویر)

در مجموع کارایی این ترکیب با استفاده از معیارهای دقت و فراخوان و امتیاز F1، در شکل (۴-۳) جمع بندی شده است. با توجه به مقایسه حالت ۱ و حالت ۴ مشاهده می‌شود که سرعت پردازش از ۱۷۸/۳۹ به ۱۵۳/۶۵ تقلیل یافته است که نشانگر آن است که اعمال مراحل پیش پردازش و مقادیر آستانه متغیر در روند بهبودی سرعت پردازش ۱۳/۸۶٪ موثر واقع شده است.



شکل ۴-۳- جمع بندی کلی ترکیب Hessian / SIFT

#### ۴-۳-۴- شناساگر Hessian و توصیف گر SURF :

این ترکیب در ۴ حالت با پیکربندی های مختلف مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل به شرح ذیل می باشد:

##### ۱) نتایج مقدار آستانه پیشفرض و عدم اعمال فیلتر نواحی کاندید برای Hessian / SURF

در این حالت، مقادیر پارامترهای ورودی به ازای حد آستانه Hessian متغیر  $hessianThreshold = 100$  و متغیر تعداد لایه ها  $nOctaves = 1$  تنظیم شده اند. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۷) بدست آمده است:

جدول ۴-۷- نتایج حالت اول ترکیب Hessian / SURF

مقدار	معیار
1	دقت
0.5025	بازخوانی
0.7512	صحت متوازن
0.6688	امتیاز F1
151.99	زمان(ثانیه)
111.10	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
9	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=0	TP=583	مثبت	نتایج بدست آمده
TN=208	FN=577	منفی	(تشخیص H در تصویر)

##### ۲) نتایج مقدار آستانه پیشفرض و اعمال فیلتر نواحی کاندید برای Hessian / SURF

در این حالت، مقادیر پارامترهای ورودی به ازای حد آستانه Hessian متغیر  $hessianThreshold = 100$  و متغیر تعداد لایه ها  $nOctaves = 1$  تنظیم شده اند. در این حالت فیلتر نواحی کاندید نیز اعمال شده است. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۸) بدست آمده است:

جدول ۴-۸- نتایج حالت دوم ترکیب Hessian / SURF

مقدار	معیار
1	دقت
0.5439	بازخوانی
0.7719	صحت متوازن
0.7045	امتیاز F1
77.03	زمان(ثانیه)
56.31	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
17.75	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=0	TP=631	مثبت	نتایج بدست آمده
TN=208	FN=529	منفی	(تشخیص H در تصویر)



### ۳) نتایج مقدار آستانه متغیر و عدم اعمال فیلتر نواحی کاندید برای Hessian / SURF

در این حالت، مقادیر پارامترهای ورودی با تغییرات ارتفاع متغیر بوده و مطابق با تغییرات ارتفاع تنظیم شده‌اند. همچنین به ازای مقدار حد آستانه Hessian متغیر  $10 \leq hessianThreshold \leq 10000$  و متغیر تعداد لایه‌ها  $nOctaves = 1$  تنظیم شده‌اند. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۹) بدست آمده است:

جدول ۴-۹- نتایج حالت سوم ترکیب Hessian / SURF

مقدار	معیار
1	دقت
0.5681	بازخوانی
0.7840	صحت متوازن
0.7245	امتیاز F1
96.93	زمان (ثانیه)
70.86	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
14.11	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=0	TP=659	مثبت	نتایج بدست آمده (تشخیص H در تصویر)
TN=208	FN=501	منفی	

### ۴) نتایج مقدار آستانه متغیر و اعمال فیلتر نواحی کاندید برای Hessian / SURF

در این حالت، مقادیر پارامترهای ورودی با تغییرات ارتفاع متغیر بوده و مطابق با تغییرات ارتفاع تنظیم شده‌اند. همچنین به ازای مقدار حد آستانه Hessian متغیر  $10 \leq hessianThreshold \leq 10000$  و متغیر تعداد لایه‌ها  $nOctaves = 1$  تنظیم شده‌اند. فیلتر نواحی کاندید در این حالت اعمال شده است. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۱۰) بدست آمده است:

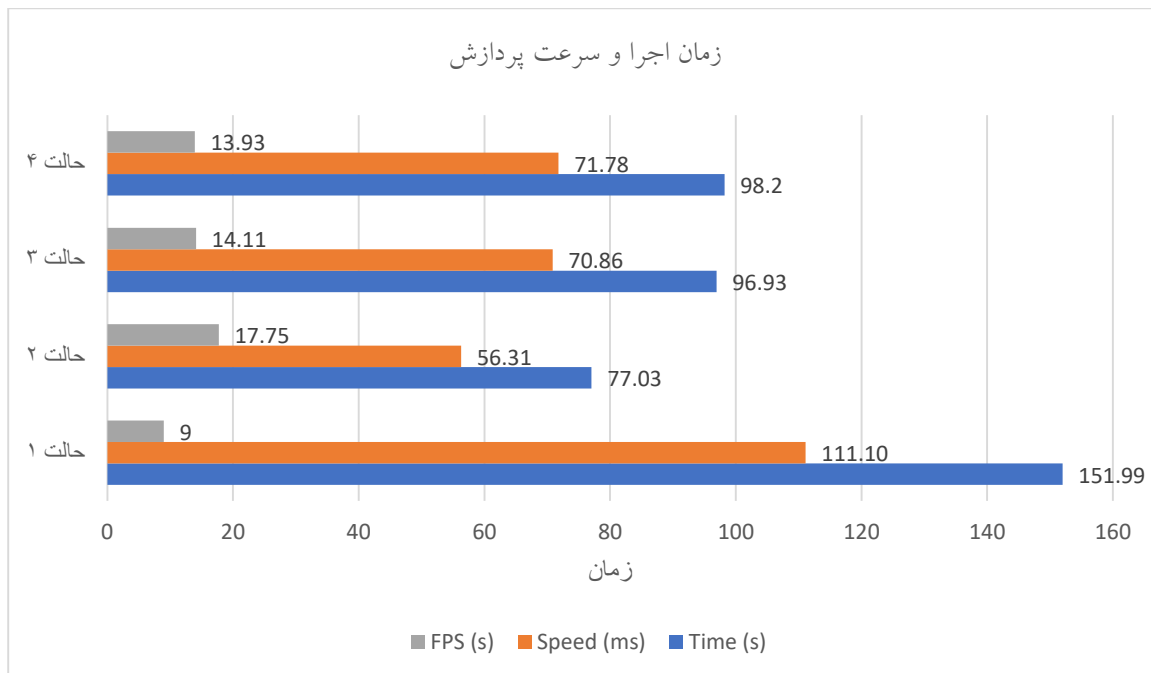
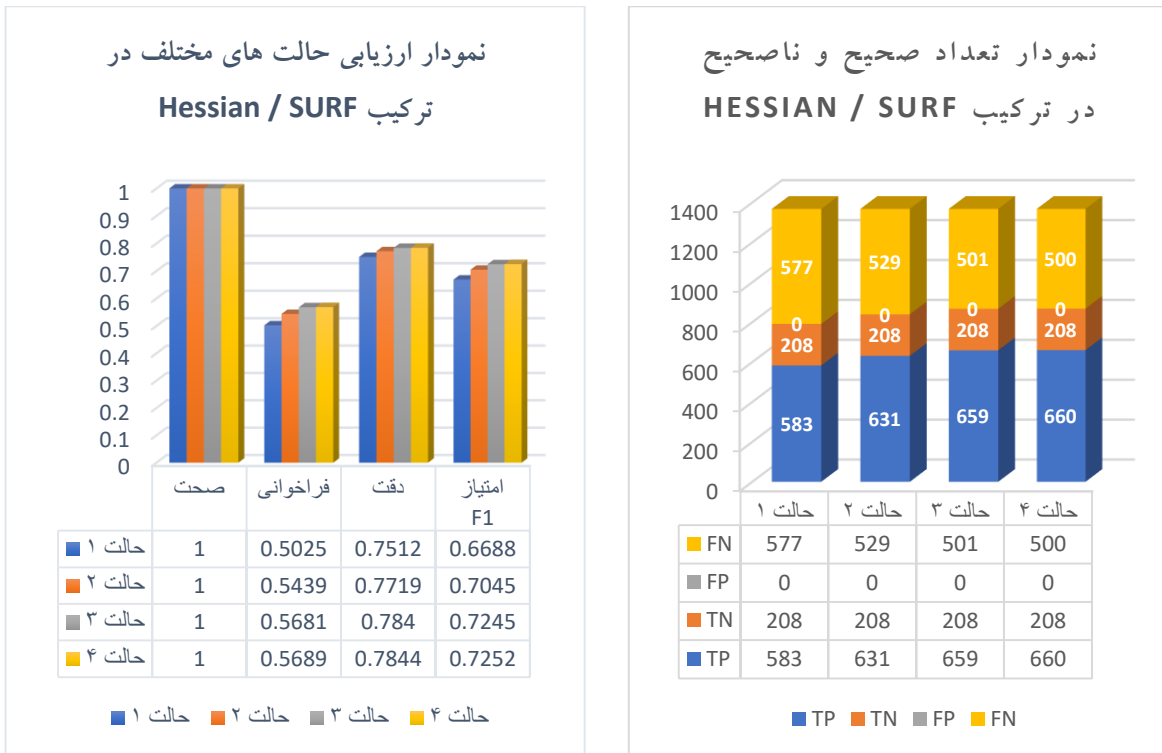
جدول ۴-۱۰- نتایج حالت چهارم ترکیب Hessian / SURF

مقدار	معیار
1	دقت
0.5689	بازخوانی
0.7844	صحت متوازن
0.7252	امتیاز F1
98.20	زمان (ثانیه)
71.78	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
13.93	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=0	TP=660	مثبت	نتایج بدست آمده (تشخیص H در تصویر)
TN=208	FN=500	منفی	

در مجموع کارایی این ترکیب با استفاده از معیارهای دقت و فراخوان و امتیاز F1، در شکل (۴-۴) جمع بندی شده است. با توجه به مقایسه حالت ۱ و حالت ۴ مشاهده می شود که سرعت پردازش از ۱۱۱/۱۰ به ۷۱/۷۸ تقلیل یافته است که نشانگر آن است که اعمال مراحل پیش پردازش و مقادیر آستانه متغیر در روند بهبودی سرعت پردازش ۳۵/۳۹٪ موثر واقع شده است.



شکل ۴-۴- جمع بندی کلی ترکیب Hessian / SURF

#### ۴-۳-۵- شناساگر AGAST و توصیف گر BRISK :

این ترکیب در ۴ حالت با پیکربندی های مختلف مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل به شرح ذیل می باشد:

(۱) نتایج مقدار آستانه پیشفرض و عدم اعمال فیلتر نواحی کاندید برای ترکیب AGAST/BRISK در این حالت، مقادیر پارامتر های ورودی به ازای حد آستانه شناساگر AGAST متغیر  $thresh = 30$  و متغیر تعداد لایه ها  $octaves = 1$  تنظیم شده اند. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۱۱) بدست آمده است:

جدول ۴-۱۱- نتایج حالت اول ترکیب AGAST / BRISK

مقدار	معیار
1	دقت
0.6297	بازخوانی
0.8148	صحت متوازن
0.7727	امتیاز F1
208.42	زمان(ثانیه)
152.35	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
6.56	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=0	TP=733	مثبت	نتایج بدست آمده
TN=204	FN=431	منفی	(تشخیص H در تصویر)

(۲) نتایج مقدار آستانه پیشفرض و اعمال فیلتر نواحی کاندید برای ترکیب AGAST/BRISK در این حالت، مقادیر پارامتر های ورودی به ازای حد آستانه شناساگر AGAST متغیر  $thresh = 30$  و متغیر تعداد لایه ها  $octaves = 1$  تنظیم شده اند. در این حالت فیلتر نواحی کاندید نیز اعمال شده است. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۱۲) بدست آمده است:

جدول ۴-۱۲- نتایج حالت چهارم ترکیب AGAST / BRISK

مقدار	معیار
1	دقت
0.6348	بازخوانی
0.8174	صحت متوازن
0.7766	امتیاز F1
141.8	زمان(ثانیه)
103.65	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
9.64	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=0	TP=739	مثبت	نتایج بدست آمده
TN=204	FN=425	منفی	(تشخیص H در تصویر)

### ۳) نتایج مقدار آستانه متغیر و عدم اعمال فیلتر نواحی کاندید برای ترکیب AGAST/BRISK

در این حالت، مقادیر پارامترهای ورودی با تغییرات ارتفاع متغیر بوده و مطابق با تغییرات ارتفاع تنظیم شده‌اند. به ازای حد آستانه شناساگر AGAST متغیر  $100 \leq thresh \leq 160$  و متغیر تعداد لایه‌ها  $octaves = 1$  تنظیم شده‌اند. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۱۳) بدست آمده است:

جدول ۴-۱۳- نتایج حالت سوم ترکیب AGAST / BRISK

مقدار	معیار
1	دقت
0.6006	بازخوانی
0.8003	صحت متوازن
0.7504	امتیاز F1
67.19	زمان (ثانیه)
49.12	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
20.36	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=0	TP=698	مثبت	نتایج بدست آمده
TN=206	FN=464	منفی	(تشخیص H در تصویر)

### ۴) نتایج مقدار آستانه متغیر و اعمال فیلتر نواحی کاندید برای ترکیب AGAST/BRISK

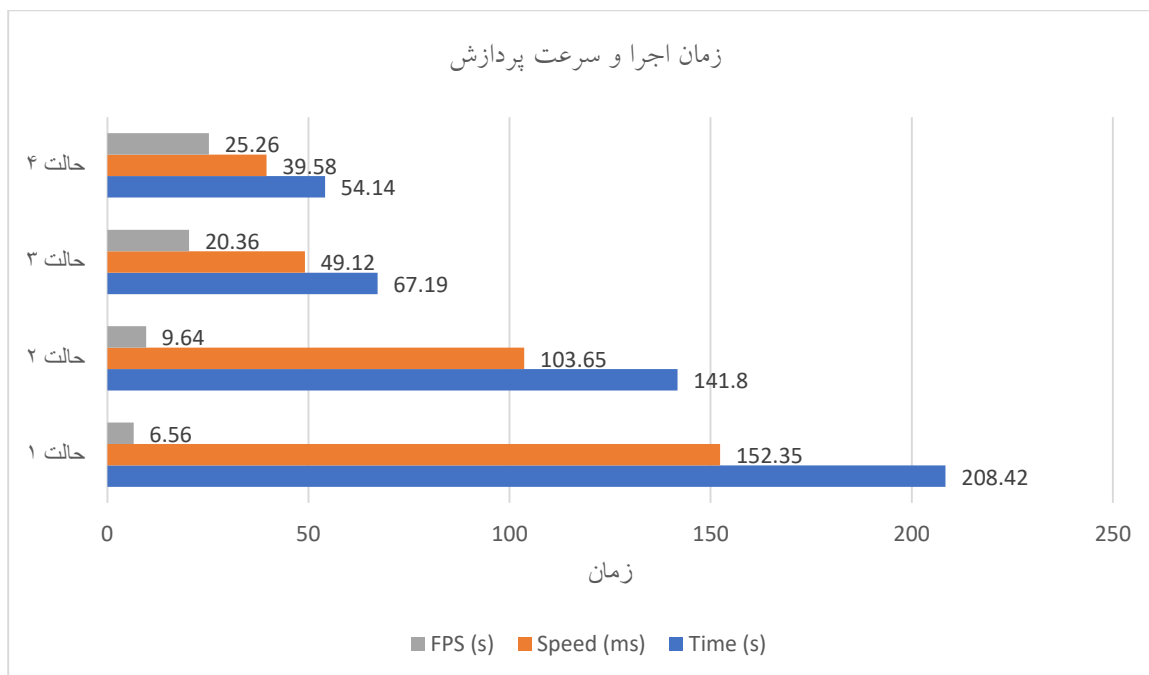
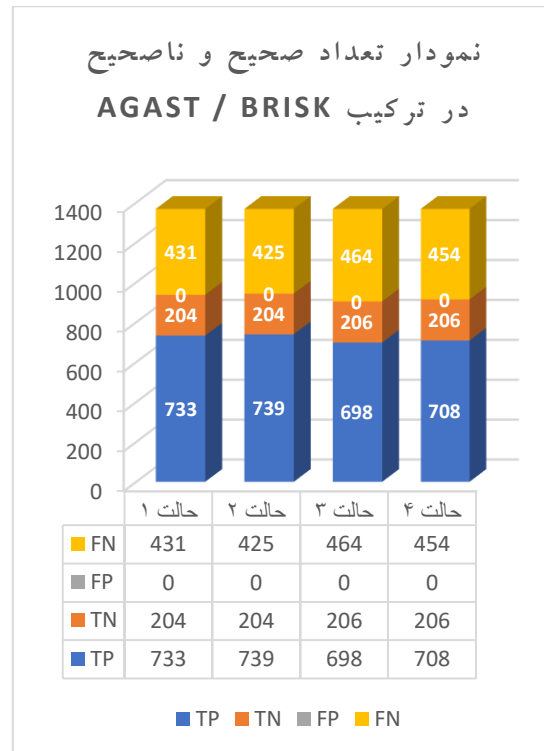
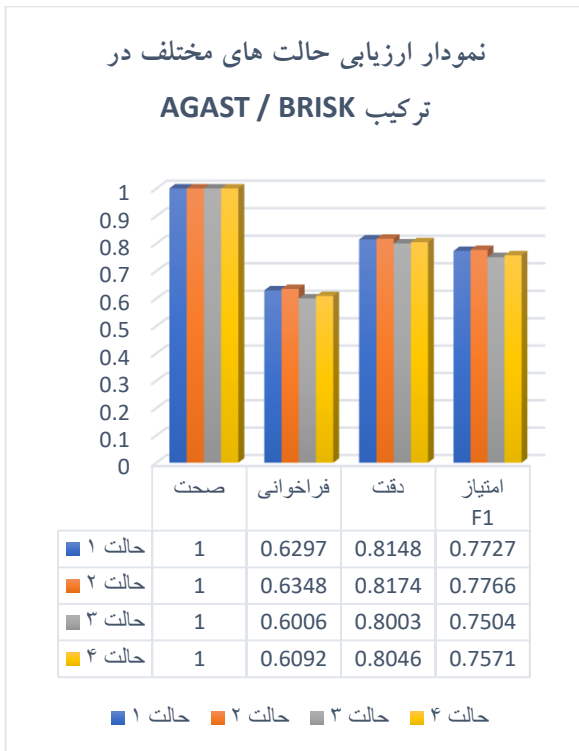
در این حالت، مقادیر پارامترهای ورودی با تغییرات ارتفاع متغیر بوده و مطابق با تغییرات ارتفاع تنظیم شده‌اند. به ازای حد آستانه شناساگر AGAST متغیر  $100 \leq thresh \leq 160$  و متغیر تعداد لایه‌ها  $octaves = 1$  تنظیم شده‌اند. همچنین فیلتر نواحی کاندید در این حالت اعمال شده است. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۱۴) بدست آمده است:

جدول ۴-۱۴- نتایج حالت چهارم ترکیب AGAST / BRISK

مقدار	معیار
1	دقت
0.6092	بازخوانی
0.8046	صحت متوازن
0.7571	امتیاز F1
54.14	زمان (ثانیه)
39.58	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
25.26	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=0	TP=708	مثبت	نتایج بدست آمده
TN=206	FN=454	منفی	(تشخیص H در تصویر)

در مجموع کارایی این ترکیب با استفاده از معیارهای دقت و فراخوان و امتیاز F1، در شکل (۴-۵) جمع بندی شده است. با توجه به مقایسه حالت ۱ و حالت ۴ مشاهده می شود که سرعت پردازش از ۱۵۲/۳۵ به ۳۹/۵۸ تقلیل یافته است که نشانگر آن است که اعمال مراحل پیش پردازش و مقادیر آستانه متغیر در روند بهبودی سرعت پردازش ۷۴/۰۲٪ موثر واقع شده است.



شکل ۴-۵- جمع بندی کلی ترکیب AGAST / BRISK

#### ۴-۳-۶- شناساگر FAST و توصیف گر ORB :

این ترکیب در ۴ حالت با پیکربندی های مختلف مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل به شرح ذیل می باشد:

##### ۱) نتایج مقدار آستانه پیشفرض و عدم اعمال فیلتر نواحی کاندید برای ترکیب FAST/ORB.

در این حالت، مقادیر پارامترهای ورودی به ازای حد آستانه شناساگر FAST متغیر  $nfeatures = 500$  و متغیر تعداد لایه ها  $octaves = 1$ ،  $edgeThreshold = 1$ ،  $patchSize = 20$  و  $nlevels = 2$  تنظیم شده اند. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۱۵) بدست آمده است:

جدول ۴-۱۵- نتایج حالت چهارم ترکیب FAST/ORB

مقدار	معیار
1	دقت
0.9853	بازخوانی
0.9926	صحت متوازن
0.9925	امتیاز F1
46.26	زمان(ثانیه)
33.82	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
29.57	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=0	TP=1144	مثبت	نتایج بدست آمده
TN=207	FN=17	منفی	(تشخیص H در تصویر)

##### ۲) نتایج مقدار آستانه پیشفرض و اعمال فیلتر نواحی کاندید برای ترکیب FAST/ORB.

در این حالت، مقادیر پارامترهای ورودی به ازای حد آستانه شناساگر FAST متغیر  $nfeatures = 500$  و متغیر تعداد لایه ها  $octaves = 1$ ،  $edgeThreshold = 1$ ،  $patchSize = 20$  و  $nlevels = 2$  تنظیم شده اند. در این حالت فیلتر نواحی کاندید نیز اعمال شده است. نتایج تست مجموعه داده در جدول (۴-۱۶) بدست آمده است:

جدول ۴-۱۶- نتایج حالت چهارم ترکیب FAST/ORB

مقدار	معیار
1	دقت
0.9940	بازخوانی
0.9970	صحت متوازن
0.9969	امتیاز F1
48.71	زمان(ثانیه)
35.61	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
28.08	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=0	TP=1160	مثبت	نتایج بدست آمده
TN=201	FN=7	منفی	(تشخیص H در تصویر)

### ۳) نتایج مقدار آستانه متغیر و عدم اعمال فیلتر نواحی کاندید برای ترکیب FAST/ORB

در این حالت، مقادیر پارامترهای ورودی با تغییرات ارتفاع متغیر بوده و مطابق با تغییرات ارتفاع تنظیم شده‌اند. به ازای حد آستانه شناساگر FAST متغیر  $500 \leq nfeatures \leq 1200$  و متغیر تعداد لایه‌ها  $octaves = 1$ ،  $edgeThreshold = 1$ ،  $patchSize = 20$  و  $nlevels = 2$  تنظیم شده‌اند. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۱۷-۴) بدست آمده است:

جدول ۱۷-۴- نتایج حالت چهارم ترکیب FAST / ORB

مقدار	معیار
1	دقت
0.9931	بازخوانی
0.9965	صحت متوازن
0.9965	امتیاز F1
46.65	زمان(ثانیه)
34.10	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
29.32	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
مثبت	منفی		
TP=1159	FP=0	مثبت	نتایج بدست آمده
FN=8	TN=201	منفی	(تشخیص H در تصویر)

### ۴) نتایج مقدار آستانه متغیر و اعمال فیلتر نواحی کاندید برای ترکیب FAST/ORB

در این حالت، مقادیر پارامترهای ورودی با تغییرات ارتفاع متغیر بوده و مطابق با تغییرات ارتفاع تنظیم شده‌اند. به ازای حد آستانه شناساگر FAST متغیر  $500 \leq nfeatures \leq 1200$  و متغیر تعداد لایه‌ها  $octaves = 1$ ،  $edgeThreshold = 1$ ،  $patchSize = 20$  و  $nlevels = 2$  تنظیم شده‌اند. همچنین فیلتر نواحی کاندید در این حالت اعمال شده است. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۱۸-۴) بدست آمده است:

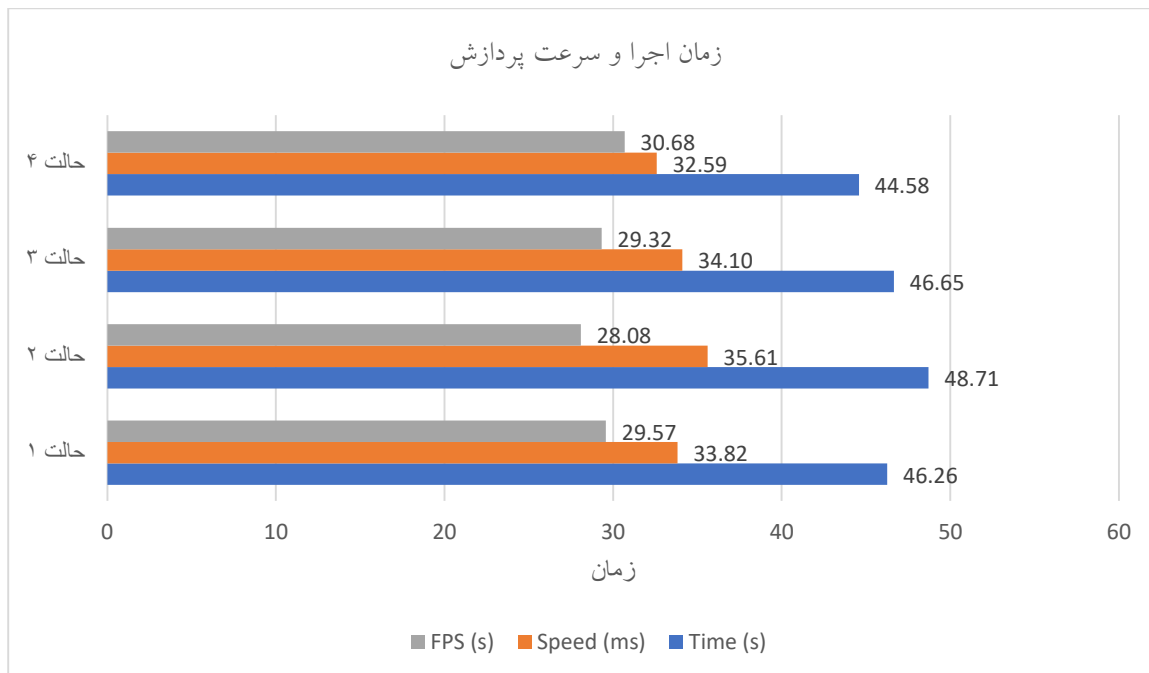
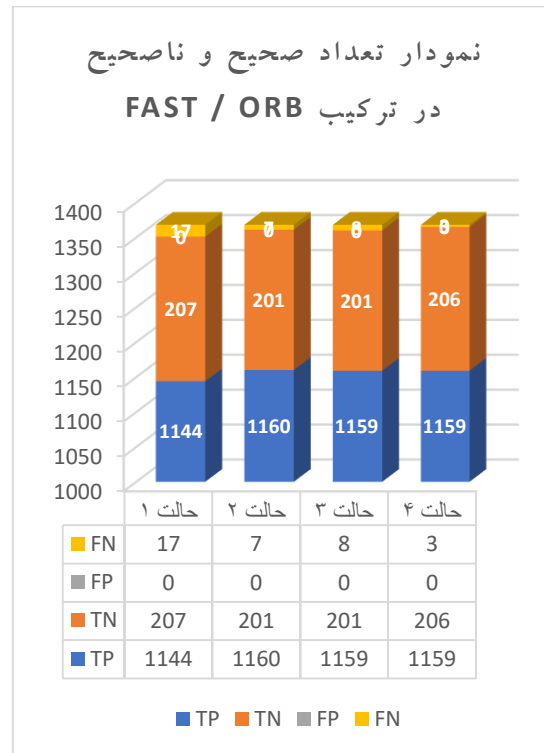
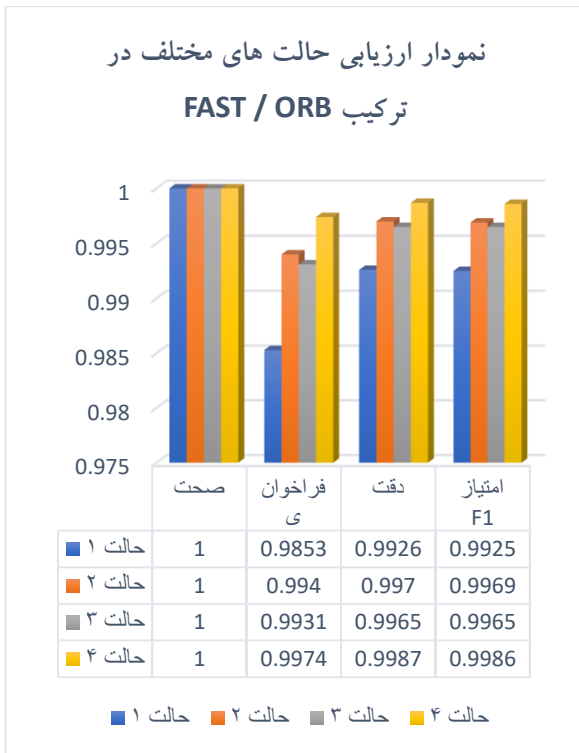
جدول ۱۸-۴- نتایج حالت چهارم ترکیب FAST / ORB

مقدار	معیار
1	دقت
0.9974	بازخوانی
0.9987	صحت متوازن
0.9986	امتیاز F1
44.58	زمان(ثانیه)
32.59	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
30.68	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
مثبت	منفی		
TP=1159	FP=0	مثبت	نتایج بدست آمده
FN=3	TN=206	منفی	(تشخیص H در تصویر)

در مجموع کارایی این ترکیب با استفاده از معیارهای دقت و فراخوان و امتیاز F1، در شکل (۶-۴) جمع بندی شده است. با توجه به مقایسه حالت ۱ و حالت ۴ مشاهده می‌شود که سرعت پردازش از ۳۳/۸۲ به ۳۲/۵۹ تقلیل یافته است که نشانگر آن است که اعمال مراحل پیش پردازش و مقادیر آستانه متغیر در روند بهبودی سرعت پردازش ۳/۶۳٪ موثر واقع شده است.



شکل ۶-۴- جمع بندی کلی ترکیب FAST / ORB



#### ۴-۳-۷- شناساگر FAST و توصیف گر SURF (راهکار پیشنهادی این پژوهش)

این ترکیب در ۴ حالت با پیکربندی های مختلف مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل به شرح ذیل می باشد:

(۱) نتایج مقدار آستانه پیشفرض و عدم اعمال فیلتر نواحی کاندید برای ترکیب FAST/SURF در این حالت، مقادیر پارامترهای ورودی به ازای حد آستانه Hessian متغیر  $hessianThreshold = 300$  و متغیر تعداد لایه ها  $nOctaves = 1$  و  $threshold = 20$  تنظیم شده اند. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۱۹) بدست آمده است:

جدول ۴-۱۹- نتایج حالت اول ترکیب FAST / SURF

مقدار	معیار
1	دقت
0.9965	بازخوانی
0.9982	صحت متوازن
0.9982	امتیاز F1
266.19	زمان(ثانیه)
194.58	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
5.13	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=0	TP=1161	مثبت	نتایج بدست آمده
TN=203	FN=4	منفی	(تشخیص H در تصویر)

#### (۲) نتایج مقدار آستانه پیشفرض و اعمال فیلتر نواحی کاندید برای ترکیب FAST/SURF

در این حالت، مقادیر پارامترهای ورودی به ازای حد آستانه Hessian متغیر  $hessianThreshold = 300$  و متغیر تعداد لایه ها  $nOctaves = 1$  و  $threshold = 20$  تنظیم شده اند. در این حالت فیلتر نواحی کاندید نیز اعمال شده است. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۲۰) بدست آمده است:

جدول ۴-۲۰- نتایج حالت دوم ترکیب FAST / SURF

مقدار	معیار
1	دقت
0.9965	بازخوانی
0.9982	صحت متوازن
0.9982	امتیاز F1
94.25	زمان(ثانیه)
68.9	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
14.51	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=0	TP=1161	مثبت	نتایج بدست آمده
TN=203	FN=4	منفی	(تشخیص H در تصویر)

### ۳) نتایج مقدار آستانه متغیر و عدم اعمال فیلتر نواحی کاندید برای ترکیب FAST/SURF

در این حالت، مقادیر پارامترهای ورودی با تغییرات ارتفاع متغیر بوده و مطابق با تغییرات ارتفاع تنظیم شده‌اند. به ازای حد آستانه Hessian متغیر  $hessianThreshold = 300$  و آستانه FAST مقدار  $15 \leq threshold \leq 130$  و متغیر تعداد لایه‌ها  $nOctaves = 1$  تنظیم شده‌اند. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۲۱) بدست آمده است:

جدول ۴-۲۱- نتایج حالت سوم ترکیب FAST / SURF

مقدار	معیار
1	دقت
0.9965	بازخوانی
0.9982	صحت متوازن
0.9982	امتیاز F1
72.14	زمان(ثانیه)
52.73	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
18.96	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=0	TP=1159	مثبت	نتایج بدست آمده (تشخیص H در تصویر)
TN=205	FN=4	منفی	

### ۴) نتایج مقدار آستانه متغیر و اعمال فیلتر نواحی کاندید برای ترکیب FAST/SURF

در این حالت، مقادیر پارامترهای ورودی با تغییرات ارتفاع متغیر بوده و مطابق با تغییرات ارتفاع تنظیم شده‌اند. به ازای حد آستانه Hessian متغیر  $hessianThreshold = 300$  و آستانه FAST مقدار  $15 \leq threshold \leq 130$  و متغیر تعداد لایه‌ها  $nOctaves = 1$  تنظیم شده‌اند. همچنین فیلتر نواحی کاندید در این حالت اعمال شده است. نتایج تست روی مجموعه داده در جدول (۴-۲۲) بدست آمده است:

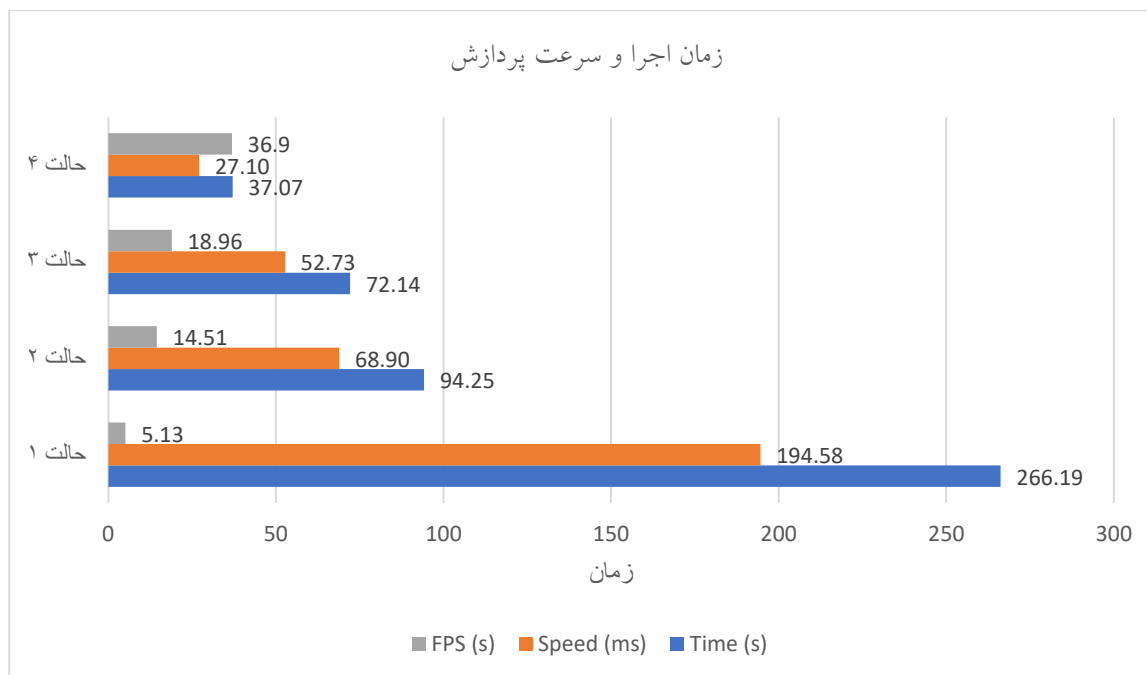
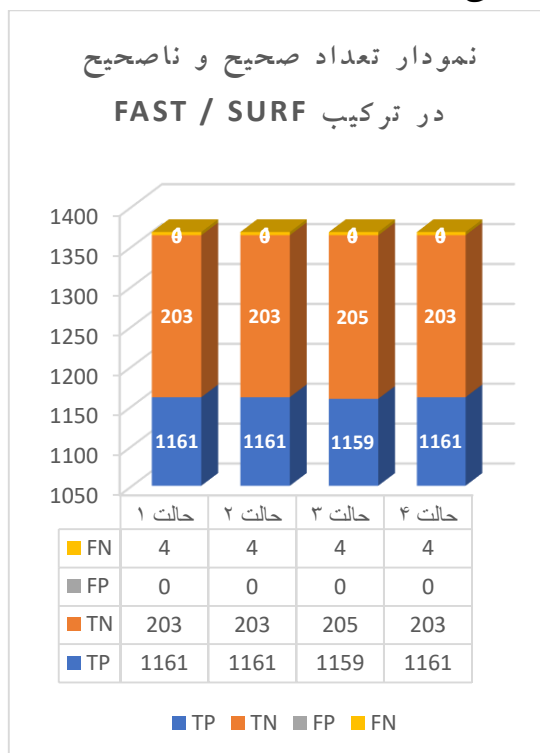
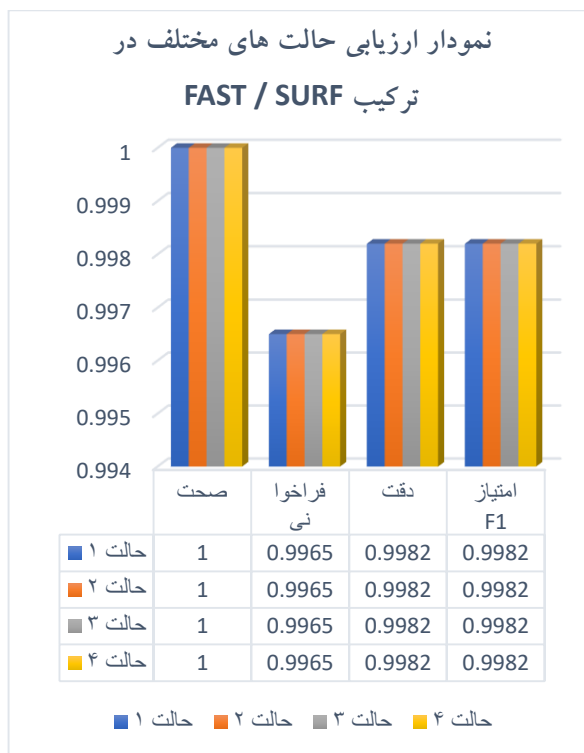
جدول ۴-۲۲- نتایج حالت چهارم ترکیب FAST / SURF

مقدار	معیار
1	دقت
0.9965	بازخوانی
0.9982	صحت متوازن
0.9982	امتیاز F1
37.07	زمان کل (ثانیه)
27.1	زمان تشخیص (میلی ثانیه)
36.90	FPS

نتایج واقعی (وجود H در تصویر)			
منفی	مثبت		
FP=0	TP=1161	مثبت	نتایج بدست آمده (تشخیص H در تصویر)
TN=203	FN=4	منفی	

در مجموع کارایی این ترکیب با استفاده از معیارهای دقت و فراخوان و امتیاز F1، در شکل (۴-۷) جمع بندی شده است. با توجه به مقایسه حالت ۱ و حالت ۴ مشاهده می‌شود که سرعت پردازش از ۱۹۴/۵۸ به ۲۷/۱ تقلیل یافته است که نشانگر آن است که اعمال مراحل پیش پردازش و مقادیر آستانه متغیر در روند بهبودی سرعت پردازش ۸۶/۰۷٪ موثر واقع شده است.



شکل ۴-۷- جمع بندی کلی ترکیب FAST / SURF

## ۴-۴- مقایسه کلی و نتیجه گیری

نتایج مقایسه کلی همه روش های بخش های قبل در جدول (۴-۲۳) نمایش داده شده است.

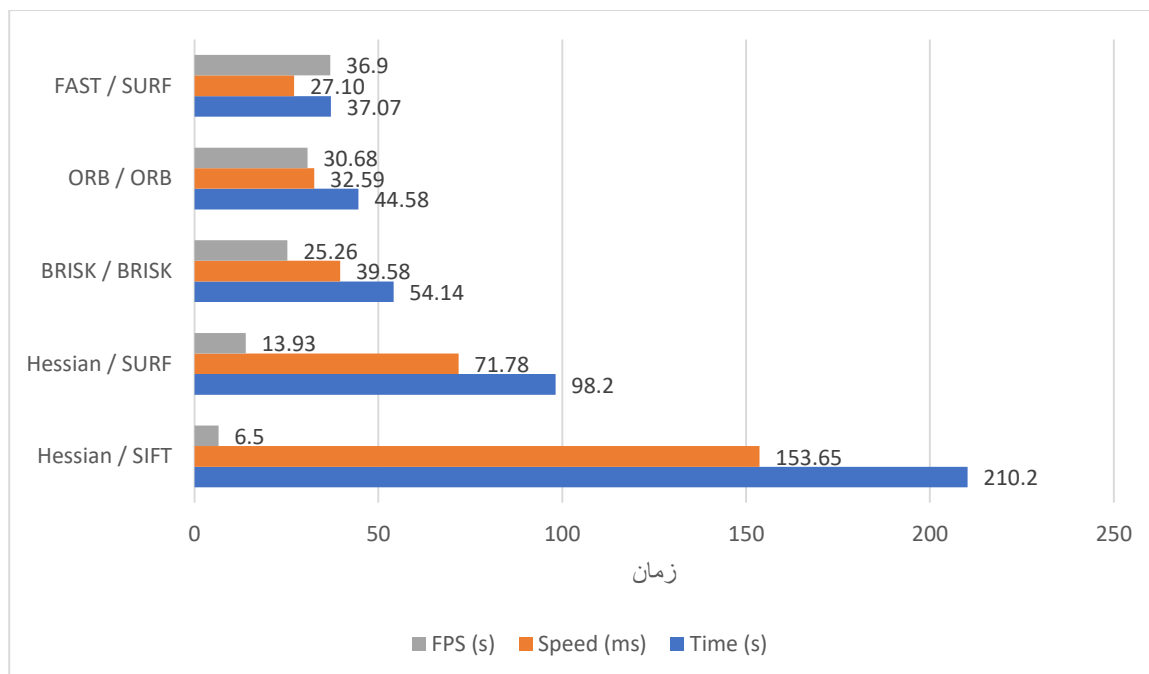
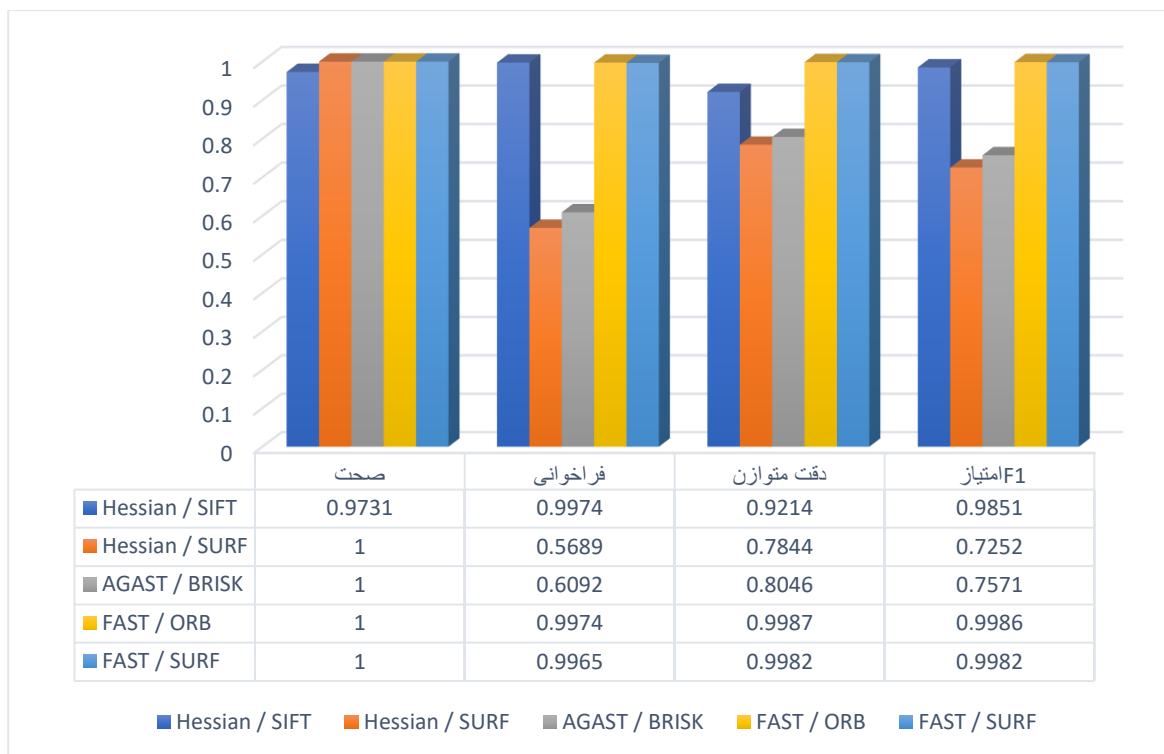
جدول ۴-۲۳- مقایسه نتایج کلی ۵ ترکیب

Speed (ms)	FPS	امتیاز F1	صحت متوازن	بازخوانی	دقت	حالت	شناساگر/توصیفگر
178.39	5.60	0.9617	0.7825	0.9965	0.9294	1	Hessian / SIFT
159.14	6.28	0.9617	0.7825	0.9965	0.9294	2	
158.03	6.32	0.9846	0.9205	0.9965	0.9731	3	
153.65	6.5	0.9851	0.9214	0.9974	0.9731	4	
111.1	9.00	0.6688	0.7512	0.5025	1	1	Hessian / SURF
56.31	17.75	0.7045	0.7719	0.5439	1	2	
70.86	14.11	0.7245	0.7840	0.5681	1	3	
71.78	13.93	0.7252	0.7844	0.5689	1	4	
152.35	6.56	0.7727	0.8148	0.6297	1	1	AGAST / BRISK
103.65	9.64	0.7766	0.8174	0.6348	1	2	
49.12	20.36	0.7504	0.8003	0.6006	1	3	
39.58	25.26	0.7571	0.8046	0.6092	1	4	
33.82	29.57	0.9925	0.9926	0.9853	1	1	FAST / ORB
35.61	28.08	0.9969	0.9970	0.9940	1	2	
34.10	29.32	0.9965	0.9965	0.9931	1	3	
32.59	30.68	0.9986	0.9987	0.9974	1	4	
194.58	5.13	0.9982	0.9982	0.9965	1	1	FAST / SURF
68.90	14.51	0.9982	0.9982	0.9965	1	2	
52.73	18.96	0.9982	0.9982	0.9965	1	3	
27.1	36.90	0.9982	0.9982	0.9965	1	4	

با توجه به مقایسه حالت نوع ۴ تمامی ترکیب ها، و آنچه در جدول (۴-۲۳) و شکل (۴-۸) نمایش داده شده است، مشهود می باشد که ترکیب های FAST/SURF و FAST/ORB رقابت بسیار نزدیکی با یکدیگر دارند. در صورتی که معیار برتری سرعت پردازش باشد (مانند هدف این پژوهش)، ترکیب FAST/SURF نسبت به FAST/ORB برتری دارد. در صورتی که معیار برتری دقت، دقت و امتیاز F1 باشد، ترکیب FAST/ORB نسبت به FAST/SURF برتری دارد. با توجه به نتایج حاصله از این پژوهش، درصد بهبودی ترکیب FAST / SURF نسبت به ترکیب های دیگر در جدول (۴-۲۴) نمایش داده شده است.

FAST / ORB	AGAST / BRISK	Hessian / SURF	Hessian / SIFT	شناساگر / توصیفگر
$1 - \frac{27.1}{32.59} = 16.8\%$	$1 - \frac{27.1}{39.58} = 31.5\%$	$1 - \frac{27.1}{71.78} = 62.2\%$	$1 - \frac{27.1}{153.65} = 82.3\%$	بهبود سرعت پردازش
$\frac{0.9982}{0.9986} - 1 = -0.04\%$	$\frac{0.9982}{0.7571} - 1 = 31.8\%$	$\frac{0.9982}{0.7252} - 1 = 37.6\%$	$\frac{0.9982}{0.9851} - 1 = 1.3\%$	F1 بهبود امتیاز

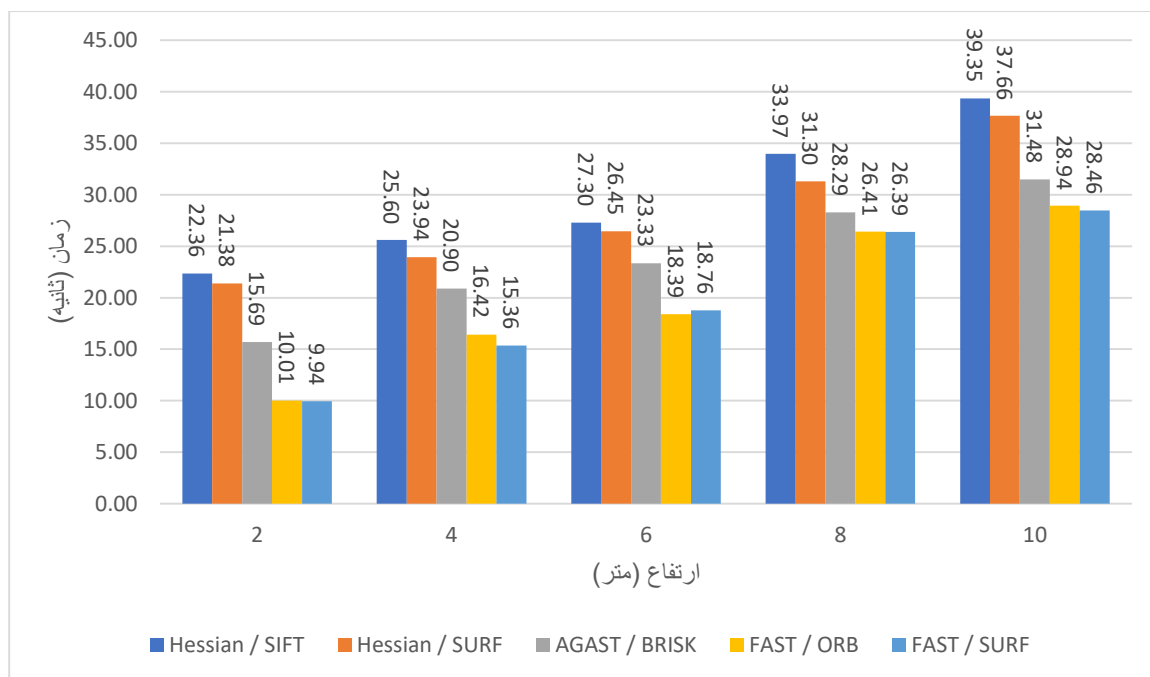
جدول ۴-۲۴- بهبود سرعت پردازش نسبت به ترکیب های دیگر



شکل ۴-۸- جمع بندی کلی ۵ ترکیب

نتایج حاصل در شکل ۴-۸ نشان‌دهنده این است که ترکیب الگوریتم‌های FAST و SURF با سرعت میانگین تشخیص ۲۷/۱ میلی‌ثانیه و سرعت پردازش ۳۶/۹ تصویر در ثانیه نسبت به ترکیب‌های دیگر برتری زمانی دارد. همانطور که در جدول ۴-۲ مشاهده می‌شود، بهبود ترکیب پیشنهادی این پژوهش FAST / SURF نسبت به ترکیب‌های دیگر در همه موارد بجز ترکیب FAST/ORB از لحاظ معیار امتیاز F1 بهبود یافته است و برای مثال ترکیب پیشنهادی این پژوهش نسبت به ترکیب معروف FAST/ORB در مقایسه سرعت پردازش بهبود ۱۶/۸ درصد را حاصل کرده است. ولی از لحاظ معیار امتیاز F1 بهبودی حاصل نشده است و ۰/۰۴ درصد نیز افت کرده است که این افت امتیاز قابل چشم‌پوشی می‌باشد زیرا بسیار کوچک می‌باشد و در هدف این پژوهش که بلادرنگ بودن و سرعت انجام پردازش از درجه بیشتری برخوردار می‌باشد قابل چشم‌پوشی است.

همانطور که در بخش (۳-۴-۳) اشاره شده است، پس از تشخیص صحیح و سریع هدف در تصویر، کنترل‌کننده فرود کنترل پهباد را بدست خواهد گرفت. مدت زمان فرود شامل زمان شروع فعالیت این کنترل‌کننده تا زمانی که فرود با موفقیت انجام پذیرد، خواهد بود. این زمان در ترکیب‌های مختلف اندازه‌گیری شده و در شکل (۴-۹) به تصویر کشیده شده است.



شکل ۴-۹- زمان سپری شده برای انجام عملیات فرود بر حسب ثانیه

با توجه به نتایج حاصل در شکل (۴-۹) زمان‌های فرود برای هر یک از ترکیب‌ها در ۵ ارتفاع مختلف اندازه‌گیری شده است. با توجه به روند اجرای عملیات فرود و استفاده از کنترل‌کننده  $P$  در این عملیات، در ارتفاع‌های بالا میزان خطای در رابطه (۳-۲) زیاد شده و در نتیجه منجر به از دست رفتن حالت پایدار پهباد خواهد شد. بنابراین با محدود کردن ضریب  $K_p$  در رابطه (۳-۲) سرعت فرود از مقداری بیشتر شتاب نخواهد گرفت.

## ۴-۵- جمع بندی

شبیه‌سازی‌ها، ارزیابی‌ها و مقایسات ارائه شده شامل مباحثی در رابطه با پیاده‌سازی و مقایسه راه‌کار معرفی شده در رویارویی با دیگر روش‌های موجود در زمینه چالش اصلی این پژوهش می‌باشند. برای این منظور ۵ ترکیب از شناساگر/توصیف‌گرهای رایج در راستای کاربرد این پژوهش جهت سنجش و ارزیابی با ذکر دلایل انتخاب و با راه‌کار پیشنهادی مقایسه گردیدند. برای این منظور در ابتدای فصل چهارم تحلیلی بر چگونگی انجام مقایسه و ارزیابی به کمک شبیه‌سازی ارائه و بیان گردید. سپس به تشریح جزئیات پیاده‌سازی و شبیه‌سازی راه‌کار پیشنهادی پرداخته شد. با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز مجموعه داده‌ای با ۱۳۶۸ تصویر ایجاد شد. در ادامه نرم‌افزار شبیه‌ساز کاربردی تحت عنوان نرم‌افزار ROS و شبیه‌ساز Gazebo به عنوان یکی از قدرتمندترین نرم‌افزارهای شبیه‌ساز معرفی گردید و در ارتباط با این شبیه‌ساز و برخی جزئیات مربوط به شبیه‌سازی انجام شده توضیحاتی ارائه گردید. سپس مبتنی بر شبیه‌ساز کاربردی، سناریوهای شبیه‌سازی معرفی و پیکربندی شناساگر/توصیف‌گرها تحت پارامترهای آن تعریف گردید. سپس مبتنی بر سناریوهای پیکربندی شده، اقدام به ارزیابی و مقایسه ترکیب‌های معرفی شده گردید و نتایج حاصل از نحوه عملکرد آن‌ها ارائه، و در رابطه با هر نتیجه تحلیل‌های مربوطه انجام و بیان گردید. تحلیل نتایج شبیه‌سازی نمایش دهنده برتری عملکرد راه‌کار پیشنهادی در بهبود تشخیص بلادرنگ هدف به نسبت روش‌ها و ترکیب‌های دیگر می‌باشد.

همان‌گونه که مشاهده گردید، به منظور انجام مقایسات ۴ ترکیب از شناساگر/توصیف‌گرها انتخاب گردیده‌اند. هدف از مقایسات، تحلیل کارایی و ارزیابی عملکرد راه‌کار پیشنهادی به نسبت ترکیب‌های مشابه می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی و نحوه عملکرد راه‌کار پیشنهادی حاکی از انتخاب صحیح و شایسته ترکیب و همچنین استفاده از معیارهای کمک‌کننده در تشخیص بهینه (مانند تشخیص ابعاد و شکل هدف) و عملکرد کارآمد آن می‌باشد. حاصل این عملکرد مؤثر بهبود و شایستگی عملکرد راه‌کار پیشنهادی در مقایسه با راه‌کارهای رایج نتیجه نموده است.

## فصل پنجم

### نتیجه‌گیری و کارهای آینده

#### ۵-۱- نتیجه‌گیری

در این پژوهش‌نامه در حیطه کاربرد پردازش تصویر و بخصوص تشخیص و استخراج ویژگی از تصویر که از پرکاربردترین و مهم‌ترین مباحث در تحقیقات و پژوهش‌های علمی می‌باشند، به بررسی روش‌های مرسوم و مطمئن و چالش‌های مربوط به آن‌ها، و در سوی مقابل راه‌کارهای بهینه‌سازی سرعت و دقت کارآمد در این دسته از الگوریتم‌ها پرداخته شد. بدین جهت در ابتدا خصوصیات و ویژگی‌های تصویر، الگوریتم‌های تشخیص و استخراج ویژگی و مهم‌ترین قابلیت‌ها و محدودیت‌های این دسته از الگوریتم‌ها مورد نقد و بررسی قرار گرفت؛ و در ادامه به اهمیت مفهوم ویژگی و کاربرد استخراج آن‌ها در پردازش تصویر و یافتن شیئی در تصویر، در ارتباط با تنوع کاربردهای آن در علوم مختلف پرداخته شد. نتیجه‌ای که از این بحث حاصل گردید آن است که الگوریتم‌های تشخیص و استخراج ویژگی به دلیل محدودیت‌های منابع محاسباتی و همچنین ماهیت توزیع نشده به شدت در ارتباط با حوزه تشخیص ویژگی‌های پیچیده و تکرارشونده چالش‌پذیر و پر مسئله هستند. این امر از یکسو و در سوی مقابل استفاده از این الگوریتم‌ها در عرصه‌های مهم، به‌طوری‌که تشخیص صحیح شیئی در تصویر اساسی‌ترین نیاز این نوع کاربردها می‌باشد؛ این نیاز ما را مستلزم به ایجاد و توسعه راه‌کارهایی جدید در جهت بهبود و توسعه کارآمد روش‌های تشخیص شیئی در مباحث پردازش تصویر، می‌سازد. اما آنچه در این ارتباط مورد توجه و بسیار حائز اهمیت بوده آن است که، تشخیص



و استخراج ویژگی‌های مبتنی بر تکرار در تصاویر یکی از چالش‌های اصلی در این مباحث و همچنین با معضلات بسیاری همراه هستند

## ۵-۲- اثبات فرضیات پژوهش

✓ ارائه راه‌کار ترکیبی الگوریتم‌های استخراج و تطبیق ویژگی FAST و SURF، در راستای عملیات اکتشاف هدف و فرود خودمختار پهپاد، منجر به بهبود انجام عملیات خواهد گردید.

ملاحظات و نتایج بخش (۴-۴) در جهت ارزیابی راه‌کار معرفی شده در این پژوهش، با عنوان ترکیب شناساگر FAST و توصیف‌گر SURF، به خوبی نشانگر این مهم هستند که افزایش سرعت پردازش در سیستم‌هایی با منابع پردازشی محدود از مهم‌ترین نکاتی است که در طراحی سیستم باید مورد توجه قرار گیرد. بهبود معیارهایی از جمله صحت، فراخوان، دقت متوازن و امتیاز F1، در نهایت منجر به بهبود بازدهی کلی الگوریتم استخراج و تطبیق ویژگی شده است و نمایش دهنده محقق شدن این فرضیه مبتنی بر عملکرد پژوهش پیشنهادی می‌باشد. همچنین نمودارهای مرتبط با معیارهای اشاره شده و مبتنی بر عملکرد راه‌کار پیشنهادی از جمله حذف نقاط و داده‌های پرت، افزایش نرخ انتخاب نقاط صحیح به غلط و کمینه کردن تشخیص‌های اشتباه الگوریتم تشخیص، در نهایت منجر به بهبود معیار امتیازدهی و ارزیابی شده است که حاکی از اثبات و محقق شدن این فرضیه اساسی می‌باشد. هماهنگی در شکل (۴-۹) مشاهده می‌شود، ترکیب FAST/SURF یا همان راه‌کار پیشنهادی این پژوهش نسبت به ترکیب دیگر از لحاظ بهبود سرعت انجام عملیات فرود موثرتر واقع شده است. برای مثال در ارتفاع ۱۰ متری ترکیب FAST/SURF نسبت به ترکیب FAST/ORB درصد بهبودی ۱/۶۵٪ و نسبت به ترکیب Hessian/SIFT درصد بهبودی ۲۷/۶۷٪ را محقق کرده است.

✓ بکارگیری الگوریتم‌های پردازش تصویر و اعمال مراحل پیش‌پردازش تصویری در بهبود عملکرد فرایند مسیریابی و کنترل پهپاد بصورت خودمختار نسبت به روش‌های کنترلی پیشین موثر واقع خواهد شد.

بهره‌گیری از مرحله پیش پردازش در راه‌کار پیشنهادی، در راستای کم کردن تعداد مقایسات و تطبیق‌های انجام شده، بر مبنای تخمین رنگ، شکل و اندازه هدف با استفاده از ارتفاع پهپاد، منجر به فراهم‌سازی قابلیت بهبود تشخیص شده است؛ و در سوی دیگر بهینه‌سازی استخراج تعداد نقاط ویژگی یافت شده با استفاده از مقادیر آماری میانه و میانگین، حاکی از اثبات این فرضیه می‌باشد. همچنین چنانچه هدف انتخابی از پیچیدگی‌های زیادی در آن تشکیل شده باشد، برای تشخیص و استخراج ویژگی بهتر می‌باشند. تشخیص و استخراج هدف در تصویر بر محوریت تشخیص و استخراج ویژگی از تصویر، منجر به بهبود کارایی و همچنین ارتقاء انجام عملیات هدایت پهپاد خواهد شد. هماهنگی در جدول (۴-۲۴) مشاهده می‌شود، ترکیب FAST/SURF یا همان راه‌کار پیشنهادی این پژوهش نسبت به ترکیب دیگر از لحاظ بهبود سرعت پردازش موثرتر واقع شده است. برای مثال ترکیب FAST/SURF نسبت

به ترکیب FAST/ORB درصد بهبودی ۱۶/۸٪ و با توجه به شکل (۴-۹) در ارتفاع ۱۰ متری درصد بهبودی ۱/۶۵٪ را محقق کرده است.

### ۵-۳- کارهای آینده

✓ تست و راه‌اندازی راه‌کار پیشنهادی بر روی پهپاد واقعی با منابع پردازشی محدود (کامپیوترهای تک بردی) با هدف بهبود عملکرد تشخیص اهداف در شرایط مختلف

هدف کلی این پژوهش یافتن راه حل مناسب برای انجام عملیات فرود خودکار روی هدف می‌باشد. با توجه به محدودیت‌های طراحی و ساخت پهپادها و محدود بودن منابع پردازشی روی آنها در این پژوهش از محیط‌های شبیه‌سازی برای آزمون و ارزیابی راهکار پیشنهادی استفاده شده است. برای دستیابی به هدف اصلی پژوهش، در آینده می‌توان از کامپیوترهای تک بردی همانند UpBoard یا RaspberryPi استفاده کرد. پیاده‌سازی راهکار پیشنهادی بروی این دسته از کامپیوترهای تک بردی به نظر می‌رسد امکان پذیر باشد و سرعت انجام عملیات بر روی این کامپیوترها مورد رضایت واقع شود. ولی مواردی همچون انتخاب صحیح دوربین و غلبه بر مواردی همچون ایجاد نویز بر روی تصویر و کنترل زیاد بر روی مانور پهپاد از مواردی است که باید مورد توجه قرار گیرند.

✓ توسعه راه‌کار معرفی شده بر محوریت تکنیک‌های یادگیری عمیق به جهت افزایش قابلیت‌های روش معرفی شده

همانطور که در بخش قبل گفته شد، هدف کلی این پژوهش یافتن راه حل مناسب برای انجام عملیات فرود خودکار روی هدف می‌باشد. یکی از روش‌های بروز در این زمینه استفاده از تکنیک‌های یادگیری عمیق می‌باشد. در این روش‌ها با استفاده از ایجاد مجموعه آموزش و همچنین ایجاد مدل ریاضی از تصاویر مختلف، شناسایی اشیاء در تصاویر ورودی انجام خواهد پذیرفت. بدین منظور از کتابخانه TensorFlow که یکی از کتابخانه‌های کاربردی در یادگیری عمیق می‌باشد، می‌توان استفاده کرد. این کتابخانه قابلیت پیاده‌سازی بر روی کامپیوترهای تک‌بردی بصورت محدود شده فراهم می‌کند.

- [1] B. C. B Vergouw, H Nagel, G Bondt, "Drone Technology: Types, Payloads, Applications, Frequency Spectrum Issues and Future Developments," in *The Future of Drone Use*, <http://www.springer.com/978-94-6265-131-9>, 2016, pp. 21–45.
- [2] D. Mellinger, N. Michael, and V. Kumar, "Trajectory Generation and Control for Precise Aggressive Maneuvers with Quadrotors," in *Springer Tracts in Advanced Robotics*, 2014, pp. 361–373.
- [3] P. G. Student, C. Engineering, B. V. M. E. College, and V. V Nagar, "A SURVEY ON OBJECT DETECTION AND TRACKING," *Int. J. Adv. Eng. Res. Dev.*, vol. 3, no. 01, pp. 2970–2978, 2016.
- [4] A. Vyskovsky, "Object tracking by a flying drone," B.S. thesis, Department of Theoretical Computer Science and Mathematical Logic, Charles University, Prague, 2014.
- [5] L. Geng, Y. F. Zhang, J. J. Wang, J. Y. H. Fuh, and S. H. Teo, "Mission planning of autonomous UAVs for urban surveillance with evolutionary algorithms," in *2013 10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA)*, 2013, pp. 828–833.
- [6] S.R Herwitz, L.F Johnson, S.E Dunagan, R.G Higgins, D.V Sullivan, J Zheng, B.M Lobitz, J.G Leung, B.A Gallmeyer, M Aoyagi, R.E Slye, J.A Brass, "Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 44, no. 1, pp. 49–61, Jul. 2004.
- [7] A. R. Girard, A. S. Howell, and J. K. Hedrick, "Border patrol and surveillance missions using multiple unmanned air vehicles," in *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control*, 2004, vol. 1, pp. 620–625.
- [8] V Ramanathan, M V. Ramana, G Roberts, D Kim, C Corrigan, C Chung & D Winker., "Warming trends in Asia amplified by brown cloud solar absorption," *Nature*, vol. 448, no. 7153, pp. 575–578, Aug. 2007.
- [9] M. Nagai, T. Chen, R. Shibasaki, H. Kumagai, and A. Ahmed, "UAV-borne 3-D mapping system by multisensor integration," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 47, no. 3, pp. 701–708, 2009.
- [10] A. Gautam, P. B. Sujit, and S. Saripalli, "A survey of autonomous landing techniques for UAVs," in *2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 2014, pp. 1210–1218.
- [11] Y. Li, S. Wang, Q. Tian, and X. Ding, "A survey of recent advances in visual feature detection," *Neurocomputing*, vol. 149, no. PB, pp. 736–751, Feb. 2015.
- [12] T. Tuytelaars and K. Mikolajczyk, "Local Invariant Feature Detectors: A Survey," *Found. Trends® Comput. Graph. Vis.*, vol. 3, no. 3, pp. 177–280, 2007.
- [13] P. Loncomilla, J. Ruiz-del-Solar, and L. Martínez, "Object recognition using local invariant features for robotic applications: A survey," *Pattern Recognit.*, vol. 60, pp. 499–514, Dec. 2016.
- [14] T. Lindeberg, "Edge Detection and Ridge Detection with Automatic Scale Selection," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 30, no. 2, pp. 117–154, 1998.
- [15] E. Rosten, R. Porter, and T. Drummond, "Faster and better: A machine learning approach to corner detection," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 32, no. 1, pp. 105–119, 2010.
- [16] M. Hassaballah, A. A. Abdelmgeid, and H. A. Alshazly, "Image features detection, description and matching," *Stud. Comput. Intell.*, vol. 630, pp. 11–45, 2016.

- [17] R. Szeliski, "Computer Vision," London: Springer London, 2011, pp. 181–234.
- [18] J. Le Moigne, Wei Xia, P. Chalermwat, T. El-Ghazawi, M. Mareboyana, N. Netanyahu, J.C. Tilton, W.J. Campbell, R.P. Cromp, "First evaluation of automatic image registration methods," in *IGARSS '98. Sensing and Managing the Environment. 1998 IEEE International Geoscience and Remote Sensing. Symposium Proceedings. (Cat. No.98CH36174)*, 1998, pp. 315–317 vol.1.
- [19] D. G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 60, no. 2, pp. 91–110, Nov. 2004.
- [20] H. Bay, T. Tuytelaars, and L. Van Gool, "SURF: Speeded Up Robust Features," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2006, pp. 404–417.
- [21] E. Rosten and T. Drummond, "Machine Learning for High-Speed Corner Detection," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2006, pp. 430–443.
- [22] S. D. Babacan, R. Molina, and A. K. Katsaggelos, "Bayesian Compressive Sensing Using Laplace Priors," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 19, no. 1, pp. 53–63, Jan. 2010.
- [23] T. Lindeberg, "Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales," *Computing*, pp. 1–12, 1996.
- [24] Ş. Işık, "A Comparative Evaluation of Well-known Feature Detectors and Descriptors," *Int. J. Appl. Math. Electron. Comput.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, Dec. 2014.
- [25] M. Trajković and M. Hedley, "Fast corner detection," *Image Vis. Comput.*, vol. 16, no. 2, pp. 75–87, Feb. 1998.
- [26] E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, and G. Bradski, "ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 2011, pp. 2564–2571.
- [27] P. L. Rosin, "Measuring Corner Properties," *Comput. Vis. Image Underst.*, vol. 73, no. 2, pp. 291–307, Feb. 1999.
- [28] T. Merz, S. Duranti, and G. Conte, "Autonomous landing of an unmanned helicopter based on vision and inertial sensing," *Springer Tracts Adv. Robot.*, vol. 21, pp. 343–352, 2006.
- [29] S. Saripalli, "Vision-Based Autonomous Landing of an Helicopter on a Moving Target," in *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, 2009, pp. 1–8.
- [30] K. E. Wenzel, A. Masselli, and A. Zell, "A Quadrocopter Hovering above a Person Wearing a Modified Cap," *Proc. Int. Micro Air Veh. Conf. Flight Compet.*, pp. 1–7, 2010.
- [31] T. Krajník, V. Vonásek, D. Fišer, and J. Faigl, "AR-drone as a platform for robotic research and education," *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 161 CCIS, pp. 172–186, 2011.
- [32] Y. J. Zhao and H. L. Pei, "Improved Vision-Based Algorithm for Unmanned Aerial Vehicles Autonomous Landing," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 273, pp. 560–565, Jan. 2013.
- [33] T. Gomes Carreira, "Quadcopter Automatic Landing on a Docking Station," *Mediterr. Conf. Control Autom.*, no. October, pp. 910–915, 2013.
- [34] J.-K. Lee, H. Jung, H. Hu, and D. H. Kim, "Collaborative Control of UAV / UGV," *11th Int. Conf. Ubiquitous Robot. Ambient Intell. (URAI 2014)*, vol. 71, no. Urai, pp. 641–645, 2014.
- [35] J. Engel, J. Sturm, and D. Cremers, "Camera-based navigation of a low-cost quadrocopter," in *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2012, pp. 2815–

2821.

- [36] R. Bartak, A. Hrascko, and D. Obdrzalek, "A controller for autonomous landing of AR.Drone," *26th Chinese Control Decis. Conf. CCDC 2014*, pp. 329–334, 2014.
- [37] S. Yang, S. A. Scherer, K. Schauwecker, and A. Zell, "Autonomous landing of MAVs on an arbitrarily textured landing site using onboard monocular vision," *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.*, vol. 74, no. 1–2, pp. 27–43, 2014.
- [38] S. Yang, J. Ying, Y. Lu, and Z. Li, "Precise quadrotor autonomous landing with SRUKF vision perception," in *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2015, vol. 2015-June, no. June, pp. 2196–2201.
- [39] O. Araar, N. Aouf, and I. Vitanov, "Vision Based Autonomous Landing of Multirotor UAV on Moving Platform," *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.*, vol. 85, no. 2, pp. 369–384, 2017.
- [40] G. E. C. Guevarra, A. R. T. Koizumi, J. N. B. Moreno, J. C. B. Reccion, C. M. O. Sy, and J. R. B. Del Rosario, "Development of a quadrotor with vision-based target detection for autonomous landing," *J. Telecommun. Electron. Comput. Eng.*, vol. 10, no. 1–6, pp. 41–45, 2018.
- [41] T. Hoang, E. Bayasgalan, Z. Wang, G. Tsechpenakis, and D. Panagou, "Vision-based target tracking and autonomous landing of a quadrotor on a ground vehicle," in *Proceedings of the American Control Conference*, 2017, pp. 5580–5585.
- [42] R. Polvara, S. Sharma, J. Wan, A. Manning, and R. Sutton, "Vision-Based Autonomous Landing of a Quadrotor on the Perturbed Deck of an Unmanned Surface Vehicle," *Drones*, vol. 2, no. 2, p. 15, 2018.
- [43] J. Engel, J. Sturm, and D. Cremers, "Scale-aware navigation of a low-cost quadcopter with a monocular camera," in *Robotics and Autonomous Systems*, 2014, vol. 62, no. 11, pp. 1646–1656.
- [44] A. Cesetti, E. Frontoni, A. Mancini, P. Zingaretti, and S. Longhi, "Vision-based autonomous navigation and landing of an unmanned aerial vehicle using natural landmarks," in *2009 17th Mediterranean Conference on Control and Automation*, 2009, no. October, pp. 910–915.
- [45] A. Ramisa, S. Vasudevan, D. Aldavert, R. Toledo, and R. Lopez De Mantaras, "Evaluation of the SIFT object recognition method in mobile robots," in *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, 2009, vol. 202, no. 1, pp. 9–18.
- [46] L. Martínez, P. Loncomilla, and J. Ruiz-del-Solar, "Object Recognition for Manipulation Tasks in Real Domestic Settings: A Comparative Study," in *Lecture Notes in Artificial Intelligence (Subseries of Lecture Notes in Computer Science)*, 2015, pp. 207–219.
- [47] M. Muja and D. G. Lowe, "Scalable nearest neighbor algorithms for high dimensional data," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 36, no. 11, pp. 2227–2240, 2014.
- [48] D. M. W. Powers and Ailab, "EVALUATION: FROM PRECISION, RECALL AND F-MEASURE TO ROC, INFORMEDNESS, MARKEDNESS & CORRELATION," *J. Mach. Learn. Technol. ISSN*, vol. 2, no. 1, pp. 2229–3981, 2011.