

۱ فصل اول مقدمه.....	۱
۱-۱- هدف پروژه.....	۲
۱-۲- تاریخچه.....	۳
۱-۳- ساختار یک کواد کوپتر.....	۵
۱-۴- کاربردها.....	۷
۱-۵- چالش‌ها و پیشنهادهای موجود برای حل مساله.....	۸
۱-۵-۱- مدل سازی.....	۹
۱-۵-۲- موقعیت یابی.....	۹
۱-۵-۳- روش‌های کنترل پرواز.....	۱۰
۲ فصل دوم مدل سازی دینامیکی.....	۱۳
۲-۱- مدل کواد کوپتر.....	۱۴
۲-۲- ماتریس‌های دوران.....	۱۷
۲-۳- مدل دینامیکی چرخش سیستم.....	۱۸
۲-۴- مدل دینامیکی جابه جایی سیستم.....	۲۱
۲-۵- مدل نهایی.....	۲۲
۲-۶- خطی سازی و معادلات حالت.....	۲۳
۲-۷- تابع تبدیل سیستم.....	۲۴
۲-۸- پارامترهای روبات.....	۲۵
۳ فصل سوم حسگرها.....	۲۷
۳-۱- سنجش زاویه.....	۲۸
۳-۲- سامانه موقعیت یاب جهانی (GPS) [11].....	۳۰
۳-۳- فاصله یاب‌ها [13].....	۳۱
۳-۳-۱- فاصله یاب نوری [14].....	۳۱
۳-۳-۲- فاصله یاب صوتی [16].....	۳۲
۳-۴- پردازش تصویر.....	۳۲
۳-۴-۱- دوربین دو بعدی.....	۳۳
۳-۴-۳- ۱-۱-۴-۳- دوربین USB.....	۳۳
۳-۴-۳- ۲-۱-۴-۳- دوربین رزبری پای.....	۳۴
۳-۴-۲- دوربین کینکت [21].....	۳۵
۳-۴-۳- لیزر اسکنر.....	۳۶
۳-۴-۴- نتیجه گیری : ترکیب سنسورها.....	۳۷

۴ فصل چهارم پردازش تصویر	۳۸
۴-۱- انواع الگو	۴۰
۴-۱-۱- علامت گذار نقطه‌ای [24]	۴۰
۴-۱-۲- علامت گذار منحنی [24]	۴۰
۴-۱-۳- QR Code [25]	۴۱
۴-۱-۴- الگوی رنگی	۴۲
۴-۱-۵- ماتریس داده [26]	۴۲
۴-۱-۶- الگوهای واقعیت افزوده [27]	۴۳
۴-۲- الگوریتم‌های پردازش تصویر	۴۴
۴-۲-۱- فیلتر سازی و Thresholding [28]	۴۴
۴-۲-۲- بخش بندی و برچسب زدن محتویات وابسته [22]	۴۵
۴-۳- نتیجه گیری	۴۵
۵ فصل پنجم موقعیت یابی و فرود	۴۶
۵-۱- کنترل موقعیت [8]	۴۸
۵-۲- کنترل زاویه [8]	۴۹
۵-۲-۱- کنترل ارتفاع	۵۱
۵-۲-۲- نتیجه گیری	۵۳
۶ فصل ششم شبیه‌سازی	۵۵
۶-۱- پارامترهای روبات	۵۷
۶-۲- شبیه‌سازی پرواز	۵۷
۶-۳- شبیه‌سازی فرود	۶۱
۶-۴- خروجی شبیه‌سازی	۶۲
۶-۴-۱- مدل دینامیکی خطی بدون نویز	۶۲
۶-۴-۲- مدل دینامیکی غیر خطی بدون نویز	۶۵
۶-۴-۳- مدل دینامیکی غیر خطی نویزی	۶۶
۶-۵- نتیجه گیری	۶۸
۷ فصل هفتم سخت افزار	۶۹
۷-۱- مکانیک	۷۰
۷-۱-۱- انتخاب جنس بدنه	۷۰
۷-۲- الکترونیک	۷۲
۷-۲-۱- مغز روبات (Erle-brain 3)	۷۲
۷-۲-۲- رزبری پای	۷۴
۷-۲-۳- تغذیه	۷۶

۷۷	۷-۲-۴- موتورها و کنترل کننده‌های سرعت
۷۷	۷-۲-۴-۱- موتورها
۸۳	۷-۲-۴-۲- ECS ها
۸۴	۷-۲-۵- حسگرها
۸۵	۷-۲-۶- سیستم مخابراتی برای ارتباط بی سیم روبات با کامپیوتر کنترل کننده
۸۶	۷-۳- نتیجه گیری
۸۷	۸ فصل هشتم پیاده‌سازی عملی
۸۸	۸-۱- نرم افزار
۸۸	۸-۱-۱- پردازش تصویر
۸۹	۸-۱-۲- کتابخانه‌ی OpenCV
۹۰	۸-۱-۲-۱- تشخیص لبه‌های تصویر
۹۰	۸-۱-۲-۲- تشخیص دایره قرمز رنگ [39]
۹۲	۸-۱-۳-۱- جست و جو و تشخیص یک عکس، در تصویر اصلی
۹۳	۸-۱-۳- Aruco
۹۵	۹ فصل نهم جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۹۷	۹-۱-۱- افزودن کنترل کننده یار
۹۷	۹-۱-۲- استفاده از پردازش گرهای مجزا برای پردازش تصویر و کنترل
۹۸	۹-۱-۳- شبیه‌سازی مدل دینامیکی زمین [40]
۹۸	۹-۱-۴- انتقال به محیط فضای باز و استفاده از سنسور باد
۹۸	۹-۱-۵- کنترل و شناسایی فازی
۹۹	۱۰ منابع و مراجع
۱۰۴	۱۱ پیوست‌ها

شکل ۱-۱	روبات STARMAC II [2]	۴
شکل ۲-۱	تصویر روبات OS4 [3]	۵
شکل ۳-۱	نحوه‌ی اعمال نیرو به موتورهای برای تغییر ارتفاع	۶
شکل ۴-۱	نحوه‌ی اعمال نیرو به موتورهای برای چرخش به طرفین	۶
شکل ۵-۱	نحوه‌ی اعمال نیرو به موتورهای برای حرکت به طرفین	۷
شکل ۶-۱	کوادروتور تصویربردار [4]	۸
شکل ۱-۲	ورودی‌های کنترلی کوادروتور [7]	۱۵
شکل ۲-۲	گشتاورهای یاو، پیچ و رول [7]	۱۶
شکل ۱-۳	ماژول GY9250 [10]	۲۹
شکل ۲-۳	سنسور GPS مورد استفاده در این پروژه [12]	۳۰
شکل ۳-۳	ماژول SRF02 [17]	۳۲
شکل ۴-۳	یک مدل دوربین USB ساخت شرکت Logitech [18]	۳۴
شکل ۵-۳	دوربین رزبری پای [20]	۳۵
شکل ۶-۳	دوربین کینکت [21]	۳۶
شکل ۷-۳	یک لیزر اسکنر کوچک با برد ۵ متر [23]	۳۶
شکل ۱-۴	محل فرود به شکل H [24]	۴۰
شکل ۲-۴	محل فرود به شکل سه مثلث تو در تو [24]	۴۱
شکل ۳-۴	نمونه یک الگوی QR Code [25]	۴۱
شکل ۴-۴	نمونه یک الگوی ماتریس داده [26]	۴۲
شکل ۵-۴	نمونه یک الگوی واقعیت افزوده [27]	۴۳
شکل ۶-۴	استفاده از یک الگو برای اضافه کردن شخصیت مجازی به تصویر [27]	۴۳
شکل ۱-۵	نمای کلی کنترل‌کننده‌ی موقعیت	۴۷
شکل ۲-۵	محل فرود با ابعاد ۱ در ۱ متر و تصویر ۹۶۰ در ۹۶۰ پیکسل	۵۲
شکل ۳-۵	بلوک دیاگرام فرود روبات	۵۴
شکل ۱-۶	نمایی از محیط گرافیکی نمایش کنترل کوادروتور در نرم افزار SolidWorks	۵۶
شکل ۲-۶	شبیه‌سازی پرواز روبات در نرم افزار متلب	۵۸
شکل ۳-۶	پاسخ پله و پارامترهای کنترلر PID محور x	۵۹
شکل ۴-۶	پاسخ پله و پارامترهای کنترلر PID محور y	۵۹
شکل ۵-۶	پاسخ پله و پارامترهای کنترلر PID محور z	۵۹
شکل ۶-۶	پاسخ پله و پارامترهای کنترلر PID محور رول	۶۰

شکل ۶-۷ پاسخ پله و پارامترهای کنترلر PID محور پیچ.....	۶۰
شکل ۶-۸ پاسخ پله و پارامترهای کنترلر PID محور یاب.....	۶۰
شکل ۶-۹ شبیه‌سازی فرود روبات در نرم افزار متلب.....	۶۲
شکل ۶-۱۰ حرکت مطلوب مدل خطی بدون نویز از ابتدا تا انتها.....	۶۳
شکل ۶-۱۱ حرکت واقعی مدل خطی بدون نویز از ابتدا تا انتها.....	۶۳
شکل ۶-۱۲ مسیر حرکت روبات خطی بدون نویز در صفحه XY.....	۶۴
شکل ۶-۱۳ حرکت مطلوب مدل غیر خطی بدون نویز از ابتدا تا انتها.....	۶۵
شکل ۶-۱۴ حرکت واقعی مدل غیر خطی بدون نویز از ابتدا تا انتها.....	۶۵
شکل ۶-۱۵ مسیر حرکت روبات غیر خطی بدون نویز در صفحه XY.....	۶۶
شکل ۶-۱۶ حرکت مطلوب مدل غیر خطی نویزی از ابتدا تا انتها.....	۶۷
شکل ۶-۱۷ حرکت واقعی مدل غیر خطی نویزی از ابتدا تا انتها.....	۶۷
شکل ۶-۱۸ مسیر حرکت نویزی غیر خطی.....	۶۸
شکل ۷-۱۷ بلوک دیاگرام الکترونیک روبات [29].....	۷۲
شکل ۷-۲ تصویر از Erle-Brain 3 و مشخصات آن [12].....	۷۴
شکل ۷-۳ Raspberry Pi 3 [32].....	۷۵
شکل ۷-۴ ماژول تغذیه APM Power Module [33].....	۷۶
شکل ۷-۵ بلوک دیاگرام اتصال موتور و ESC.....	۷۷
شکل ۷-۶ MT2216 و کاربرد آن در کوادروتور [34].....	۸۰
شکل ۷-۷ نمودار نیروی بالابرنده و توان خروجی پره نسبت به سرعت چرخش [34].....	۸۱
شکل ۷-۸ نمودار راندمان، توان خروجی و سرعت چرخش موتور نسبت به جریان مصرفی [34].....	۸۱
شکل ۷-۹ رابطه میان موتور، مدار راه‌انداز و پره برای ایجاد نیروی بالابرنده.....	۸۲
شکل ۷-۱۰ تصویر ESC مورد انتخاب [35].....	۸۳
شکل ۷-۱۱ کنترل موتور به وسیله‌ی مدولاسیون عرض پالس.....	۸۵
شکل ۸-۱ یافتن لبه‌های تصویر با استفاده از فیلتر Canny Edge Detector.....	۹۰
شکل ۸-۲ تشخیص دوایر قرمز رنگ.....	۹۱
شکل ۸-۳ یافتن دوایر قرمز رنگ در تصویر نویزی.....	۹۱
شکل ۸-۴ علامت فرود.....	۹۲
شکل ۸-۵ تشخیص نقاط کلیدی تصویر مرجع در تصویر دوربین.....	۹۳
شکل ۸-۶ نمونه یک صفحه کالیبره کننده دوربین [7].....	۹۴

صفحه

فهرست جداول

جدول ۱-۲ پارامترهای اندازه‌گیری شده مدل واقعی.....	۲۵
جدول ۱-۵ تعداد پیکسل نمایش هر بارکد در ارتفاع‌های متفاوت و تعداد بارکدهای مورد مشاهده.....	۵۲
جدول ۱-۶ پارامترهای اندازه‌گیری شده مدل واقعی.....	۵۷
جدول ۱-۷ این جدول خواص مختلف ماده را با امتیاز دهی از ۱۰ مقایسه می‌نماید.....	۷۱
جدول ۲-۷ جدول امکانات 3 Erle-brain [30] [12] [31].....	۷۳
جدول ۳-۷ جدول ویژگی‌های الکترونیک ماژول APM Power Module.....	۷۶
جدول ۴-۷ مقایسه‌ی موتورهای بدون جاروبک DC با موتور DC معمولی.....	۷۸
جدول ۵-۷ اتصالات Raspberry Pi.....	۸۴

فهرست علائم

ϕ	زاویه رول
θ	زاویه پیچ
ψ	زاویه یاو
x	مکان در راستای محور x
y	مکان در راستای محور y
z	مکان در راستای محور z
p	سرعت زاویه‌ای حول محور x
q	سرعت زاویه‌ای حول محور y
r	سرعت زاویه‌ای حول محور z
τ_{roll}	گشتاور ورودی حول محور x
τ_{pitch}	گشتاور ورودی حول محور y
τ_{yaw}	گشتاور ورودی حول محور z
τ_{thrust}	نیروی حاصل از مجموع چهار موتور
I_{xx}	ممان اینرسی حول محور x
I_{yy}	ممان اینرسی حول محور y
I_{zz}	ممان اینرسی حول محور z
M_i	گشتاور موتور i ام
F_i	نیروی موتور i ام
k_M	ضریب گشتاور
k_F	ضریب نیرو

Ω_i	سرعت زاویه‌ای موتور i ام
J_r	ممان اینرسی ملخ‌ها
g	شتاب گرانش
T	انرژی پتانسیل
V	انرژی جنبشی
K_i	ضریب انتگرال گیر
K_p	ضریب تناسبی
K_d	ضریب مشتق گیر
K_{ff}	ضریب پیش خورد