



دانشکده مهندسی برق

عیب یابی خطوط انتقال قدرت برق با پرنده چهار پره بوسیله بینایی ماشین و یادگیری عمیق

پایان نامه یا رساله برای دریافت درجه کارشناسی
در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

امیرحسین جراره

استاد راهنما:

دکتر عرب خابوری

1400 تابستان



دانشکده مهندسی برق

عیب یابی خطوط انتقال قدرت برق با پرنده چهار پره بوسیله بینایی ماشین و یادگیری عمیق

پایان نامه یا رساله برای دریافت درجه کارشناسی
در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

امیرحسین جراره

استاد مشاور:
دکتر عرب خابوری

1400 تابستان

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ

-1- تأییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه رساله

نام دانشکده:

نام دانشجو:

عنوان پایان‌نامه یا رساله:

تاریخ دفاع:

رشته:

گرایش:

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
1	استاد راهنما				
2	استاد راهنما				
3	استاد مشاور				
4	استاد مشاور				
5	استاد مدعو خارجی				
6	استاد مدعو خارجی				
7	استاد مدعو داخلی				
8	استاد مدعو داخلی				

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

با اسمه تعالی

اینجانب امیرحسین جراره به شماره دانشجویی 95411261 دانشجوی رشته برق مقطع تحصیلی کارشناسی تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انصباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احراق حقوق مکتب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسؤولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: امیرحسین جراره

امضا و تاریخ:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضا:

تقدیم به:

تقدیم به همه کسانی مرا در این عرصه راهنمایی نموده اند.

تشکر و قدردانی:

نخست از خدای متعال و از خانواده ام که با بند بند وجودشان حامی من بوده اند. از استاد گرانقدرم آقای دکتر عرب خابوری بسیار سپاس‌گزارم که بستری را برای من فراهم کردند که بتوانم بر یادگیری و تجربیاتم بیافزایم. از دوستان خوبم آقایان ذاکری و منافی که تمام همت خود را گمارده اند که این پروژه را به سرانجام برسانیم بسیار سپاس‌گزارم. در انتها از آقایان روشن روان، جعفری نصب و عبدی ده سرخ کمال تشکر را دارم و از خداوند متعال موفقیت و پیشرفت روزافرون را برای تمامی این بزرگواران خواستارم.

چکیده

برای بررسی خرابی های احتمالی اجزای خطوط انتقال قدرت مانند) مقره ها ، هادی ها، اتصالات و ...) نیاز است هر از چند گاهی اپراتورها به بالای دکل رفته و خطوط را مورد بررسی قرار دهند . این روش علاوه بر خطرات امواج الکترومغناطیسی ، خطراتی را همچون برق گرفتگی و یا سقوط از بالای دکل را برای اپراتور به همراه خواهد داشت و حتی گاهی نیاز است قبل از انجام این کار ، برق یک دکل به کلی قطع شود. تا کنون صدمات جانی و مرگ بیش از هزار اپراتور در حین بررسی خطوط انتقال در اثر خطرات احتمالی ذکر شده ، گزارش شده است که این خسارات انسانی هرگز جبران نخواهند شد.

لذا در این پژوهه سعی بر آن بوده تا با استفاده از پرنده های بدون سرنشین با قابلیت هدایت خودکار و تصویر برداری ، بتوان تا حد خوبی این خسارات را کاهش داد . تصاویر گرفته شده توسط پرنده به صورت برخط برای اپراتور که در پایین دکل ایستاده است فرستاده می شود . برای ایجاد تعامل مناسب جهت ارتباط با پرنده و مشاهده تصاویر ، رابط گرافیکی به صورت کامل طراحی کدنویسی شده است که تصاویر را به صورت برخط برای اپراتور به نمایش درمی آورد. تصاویر دریافت شده با استفاده از قابلیت پردازش تصویر با استفاده از هوش مصنوعی مبتنی بر یادگیری عمیق، اپراتور را جهت عیب یابی هر چه سریع تر و دقیق تر خط انتقال یاری می رساند .

واژه های کلیدی : خطوط انتقال قدرت ، مقره ، پرنده بدون سرنشین ، کوادکوپتر، فلایت کنترلر ، فیلتر کالمن ، هوش مصنوعی ، پردازش تصویر ، دوربین ، پنل کاربری

فهرست عناوین

0	مقدمه	18
1	فصل اول خطوط انتقال هوایی و اجزای تشکیل دهنده آن	21
1.1	مقدمه ای بر خطوط انتقال هوایی	22
1.2	اصطلاحات و اجزای تشکیل دهنده خطوط انتقال هوایی	22
1.3	پدیده کرونا:	26
1.4	حریم خطوط هوایی	26
2	فصل دوم مقره	29
2.1	مقره چیست؟	30
2.2	ویژگی های یک مقره :	30
2.3	انواع مقره:	30
2.3.1	انواع مقره از نظر جنس:	30
2.3.2	انواع مقره از نظر کاربرد:	31
2.3.3	انواع مقره از نظر شکل:	31
2.4	انواع زنجیره مقره	35
2.5	آسیب دیدگی مقره ها	40
2.6	روش عیب یابی در مقره ها	41
2.7	راه حل موجود برای رفع مشکلات بازدید میدانی	43
3	فصل سوم پرنده های بدون سرنشین	44
3.1	مقدمه ای بر پرنده های بدون سرنشین (پهباد)	45
3.1.1	کواد کوپتر	47
3.1.2	هگزو کوپتر	48
3.1.3	بال ثابت	49
3.1.4	مقایسه و انتخاب پرنده مناسب جهت بازدید از خطوط انتقال برق	49
4	فصل چهارم پرنده چهارپره (کوادکوپتر)	53
4.1	خلبان خودکار(اتوپایلوت)	54
4.1.1	آردوبایلوت	56
4.1.1.1	ArduCopter	57
4.1.2	فیلتر کالمن توسعه یافته	58
4.1.3	سخت افزار (معرفی pixhawk)	59
4.1.4	کنترل پرنده از راه دور و قابلیت هدایت خودکار(autonomous)	59

60 مارک 4.1.4.1
60 نرم افزار کنترل زمینی 4.1.4.2
61 موقعیت یاب (GPS) 4.2
63 موتور براشلس 4.3
64 اسپیدکنترل 4.3.1
65 دسته رادیویی (RC) 4.4
66 تلمتری 4.4.1
66 باتری لیتوم پلیمر 4.5
67 بدن F450 4.6
69 ساخت کامل پرنده 4.7
73 روش های شیلدینگ و گراندینگ برای جلوگیری از ورود نویز های خط انتقال 4.8
76 شبیه سازی 4.9
76 شبیه سازی مدل در حلقه (MIL) 4.9.1
76 شبیه سازی نرم افزار در حلقه (SIL) 4.9.2
77 شبیه سازی پردازشگر در حلقه (PIL) 4.9.3
77 شبیه سازی سخت افزار در حلقه (HIL) 4.9.4
78 استفاده از نرم افزار در حلقه (SIL) به کمک آردوپایلوت و Gazebo برای شبیه ساز پرواز 4.9.5
80 بررسی تست های پروازی در فضای باز 4.10
80 انجام تنظیمات اولیه شامل نصب اتوپایلوت ، کالیبراسیون سنسور ها و تعیین حالت های پروازی 4.10.1
84 مد های پروازی 4.10.2
84 AltHold , Loiter)Position م د 4.10.2
85 Altitude م د 4.10.2
85 Manual/ Stabilized م د 4.10.2
86 Rattitude/Acro م د 4.10.2
86 Takeoff م د 4.10.2
86 Land م د 4.10.2
86 Hold م د 4.10.2
87 RTL م د 4.10.2
87 Guided م د 4.10.2
87 Follow Me م د 4.10.2
87 Offboard م د 4.10.2
88 تنظیم ضرایب PID برای محور های پرنده (PID Tunning) 4.10.3
91 تست حالت پرواز ارتفاع (AltHold) ، موقعیت (Position) و بررسی میزان پایداری پرنده 4.10.4
93 تعریف یک ماموریت و بررسی نتایج آن (گردش به شکل لوزی) 4.10.5
95 فصل پنجم بینایی 5
96 5.1 مقدمه ای بر پردازش تصویر
96 5.2 هوش مصنوعی و پردازش تصویر

97 کاربرد های پردازش تصویر	5.2.1
97 فاکتور های مهم در پردازش تصویر	5.2.2
98 طبقه بندی تصاویر جمع آوری شده	5.2.3
100 روند تهیه دیتاست	5.2.4
100 5.2.4.1 دیتاست های اینترنتی	
100 5.2.4.2 میدانی	
101 5.2.4.3 برچسب گذاری تصاویر جمع آوری شده	
102 5.2.5 معرفی کتابخانه پای تورج	
103 5.2.6 معرفی شبکه یولو	
104 5.2.7 معرفی محیط google colab	
106 5.2.8 آموزش شبکه و بررسی نتایج اولیه	
107 5.2.9 استفاده از شبکه آموزش دیده در محیط local	
107 5.3 دوربین	
108 5.3.1 استفاده از لرزش گیر برای حذف لرزش های دوربین در حین پرواز	
109 5.3.2 انتقال تصویر به پنل زمینی	
109 5.3.2.1 استخراج تصویر با استفاده از python و آماده سازی برای پردازش	
109 5.3.3 نصب دوربین روی پرندۀ و مشاهده تصاویر در حال پرواز	
111 5.3.4 استفاده از تلفن همراه به عنوان دوربین	
112 6 فصل ششم پنل زمینی	
113 6.1 مقدمه ای بر پنل زمینی	
113 6.1.1 معرفی QT	
113 6.1.2 در پایتون	
114 6.1.3 معرفی PyQt	
114 6.1.4 زبان نشانه گذاری qml	
115 6.2 قسمت های مختلف پنل کاربری	
115 6.2.1 صفحه منو	
115 6.2.2 صفحه نمایش برخط	
116 6.2.3 صفحه آنالیز بر خط	
118 7 فصل هفتم جمع بندی و بررسی نتایج	
121 7.1 نظرات و پیشنهادات پایانی جهت بهبود پروژه	
122 8 منابع و مراجع	
124 9 پیوست ها	

فهرست تصاویر

صفحه

تصویر 1-1 : نمونه ای از دو دکل آویزی.....	23
تصویر 1-2 نمونه ای از یک دکل کششی.....	23
تصویر 1-3 نمونه ای از یک ترانسفورماتور KVA200..... KV33	24
تصویر 1-4 مونه ای از استفاده از بالمارکر در خطوط انتقال هوایی.....	25
تصویر 1-5 نمونه ای از یک برقگیر	25
تصویر 1-6 ظاهر شدن پدیده کرونا در خطوط انتقال به صورت هاله ای از نور	26
تصویر 2-1 تصویری شماتیک از مقره سوزنی 33 کیلو ولتی	32
تصویر 2-2 تصویری شماتیک از مقره بشقابی.....	32
تصویر 2-3 شماتیک از مقره بشقابی فشار قوی	33
تصویر 2-4 تصویری شماتیک از مقره استوانه ای و نحوه قرار گیری آن بر روی پایه	34
تصویر 2-5 شماتیک از دو نوع مقره چرخی: سمت راست مقره دوشیار ، سمت چپ مقره تک شیار	34
تصویر 2-6 تصویری شماتیک از مقره مهار از زوایه جلو و رو به رو	35
تصویر 2-7 نمونه ای شماتیک از دو نوع مقره مخصوص : سمت راست مقره مخصوص خطوط انتقال ، سمت چپ ، مقره مخصوص پست های فشار قوی	35
تصویر 2-8 زنجیره مقره آویزی I.....	36
تصویر 2-9 زنجیره مقره آویزی II.....	36
تصویر 2-10 زنجیره مقره آویزی 7 متقارن.....	37
تصویر 2-11 زنجیره مقره آویزی 7 نامتقارن.....	37
تصویر 2-12 زنجیره مقره کششی I	38
تصویر 2-13 زنجیره مقره کششی II.....	38
تصویر 2-14 زنجیره مقره جامپر	39
تصویر 2-15 زنجیره مقره ذوزنقه ای	39
تصویر 2-16 تخلیه الکتریکی در سطح مقره به ترتیب از راست به چی از سطح مقره ، در هوای خشک و در هوای مرطوب	40
تصویر 2-17 تصویر برداری گرمایی از دکل برق فشار قوی	42
تصویر 2-18 بازدید میدانی از محل اتصالات خطوط انتقال و مقره ها	42
تصویر 2-19 بازدید از خطوط انتقال قدرت با استفاده از پرنده چندپره	43
تصویر 3-1 پایش خطوط برق و گاز توسط پهیاد	45
تصویر 3-2 اطفای حریق در مناطق جنگلی با استفاده از پرنده های بال ثابت	45
تصویر 3-3 مسیریابی به وسیله کوادکوپتر برای شرایط سیل زدگی	46
تصویر 3-4 سم پاشی زمین های کشاورزی با استفاده از کوادکوپتر	46
تصویر 3-5 مشاهده برخط تصاویر گرمایی پرنده و کنترل از راه دور آن	46
تصویر 3-6 کوادکوپتر سایما به همراه دوربین	47
تصویر 3-7 هگزروکوپتر دارای GPS	48
تصویر 3-8 هوایپما بدون سرنشین HAWK'S LANCASTER	49
تصویر 3-9 موارد استفاده از پرنده بال ثابت	50
تصویر 3-10 موارد استفاده از پرنده چند پره	50

تصویر 3-11 مقایسه میزان وسعت دید و محدوده پوشش داده شده بین پرنده بال ثابت و چند پره.....	51
تصویر 3-12 مقایسه پرنده بال ثابت و چند پره از نظر وضوح تصویربرداری.....	51
تصویر 4-1 در این تصویر ساختار کنترلی که برای هر محور پرنده به صورت مجزا به کار رفته نشان داده است.....	54
تصویر 4-2 تعدادی از اتوپایلوت هایی که رایگان هستند	55
تصویر 4-3 وسیله های بدون سرنشین مختلفی که کنترل آن ها به عهده ARDUPILOT است	57
تصویر 4-4 استفاده از سه فیلتر کالمن در ARDUPILOT	58
تصویر 4-5 سخت افزار PIXHAWK ساخت شرکت RADIO LINK	59
تصویر 4-6 سخت افزار MINI PIX ساخت شرکت RADIO LINK	59
تصویر 4-7 محیط کلی نرم افزار QGROUND CONTROL	60
تصویر 4-8 ابعاد موقعیت یاب TS100	61
تصویر 4-9 هنگامی که چراغ سبز رنگ GPS چشمک می زند به معنی پیدا کردن موقعیت است.....	62
تصویر 4-10 نحوه قرار گیری GPS در کنار MINIPIX	62
تصویر 4-11 موتور 2214-920KV TAROT	63
تصویر 4-12 ملخ 10 اینچی با جنس پلاستیک فشرده.....	64
تصویر 4-13 اسپید کنترلر HOBBYWING با بیشترین جریان 10 آمپر	64
تصویر 4-14 رادیو کنترل 8 کانال T8FB با برد یک کیلومتر.....	65
تصویر 4-15 گیرنده دسته رادیویی با خروجی ها کانال های 1 تا 8 ، PPM و SBUS	65
تصویر 4-16 مژول ESP8266-07 به همراه آتن اکستنال با برد 120 متر	66
تصویر 4-17 باتری لیتیوم پلیمر 3300MAH که مدت زمان پروازی 10 تا 15 دقیقه ای را دارد	67
تصویر 4-18 قطعات جدا شده بدنه قبل از اتصال	67
تصویر 4-19 پایه فرود ، قطعات جدا شده آن	68
تصویر 4-20 پایه فرود سر هم شده	68
تصویر 4-21 بدنه سر هم شده F450 ، پایه های خارجی فرود به آن متصل نشده است	69
تصویر 4-22 نصب کنترلر و کلید امینت روی بدنه	70
تصویر 4-23 جهت چرخش موتور ها	71
تصویر 4-24 موتور با مهره سیاه جهت چرخش ساعتگرد	71
تصویر 4-25 موتور با مهره سفید جهت چرخش پاد ساعتگرد	71
تصویر 4-26 اسپید کنترلر و کانکتور های آن	72
تصویر 4-27 جا به جایی سیم های اسپید کنترلر جهت تعویض چرخش موتور	73
تصویر 4-28 شیلد آلومینیوم بر روی فلایت کنترلر MINI PIX	75
تصویر 4-29 شیلد آلومینیوم بر روی فلایت کنترلر MINI PIX	75
تصویر 4-30 معماری سخت افزار در حلقه ARDUPILOT	79
تصویر 4-31 شبیه سازی پرنده در حال تیکاف در محیط GAZEBO [23]	79
تصویر 4-32 نحوه مشخص کردن پورت در MISSION PLANNER	80
تصویر 4-33 محل اتصال کابل MICRO USB با رنگ زرد مشخص شده است	80
تصویر 4-34 نرم افزار MISSION PLANNER قسمت نصب فریم ویر ARDUPILOT	81
تصویر 4-35 مرحله تعیین بدنه در MISSION PLANNER	82
تصویر 4-36 کالیبراسیون شتاب و جهت های قرار گیری پرنده	82
تصویر 4-37 کالیبراسیون دسته رادیویی ، خطوط قرمز رنگ بازه تعییرات کانال ها را نشان می دهد	82
تصویر 4-38 جداسازی ملخ ها از موتور برای کالیبره کردن اسپید کنترلر	83

تصویر 4-39: روشن کردن دسته و قرار دادن تراکل روی بیشترین مقدار	83
تصویر 4-40: نمایی از مد پرواز POSITION	84
تصویر 4-41: تنظیم ضرایب PID برای محور های مختلف در MISSION PLANNER	89
تصویر 4-42: نمونه ای از ورودی پله به پرنده و خروجی آن . نمودار سیز ورودی پله و نمودار قرمز خروجی پرنده است	90
تصویر 4-43: تنظیم ضریب تراکل در MISSION PLANNER	90
تصویر 4-44: پرواز پرنده در حالت POSTION	92
تصویر 4-45: پرواز پرنده در حالت ALTHOLD	92
تصویر 4-46: فرود پرنده با حالت LAND	93
تصویر 5-1: مقره آسیب دیده (شکستگی یک بشقاب مقره)	99
تصویر 5-2: مقره آسیب دیده (شکستگی و لب پر شدن)	99
تصویر 5-3: مقره آسیب دیده (آرکزدگی)	99
تصویر 5-4: مقره آسیب دیده (سوختگی)	99
تصویر 5-5: دکل 63 کیلو ولت استخراج شده در باز دید میدانی	101
تصویر 5-6: برچسب زدن مقره سالم با LABELIMG	102
تصویر 5-7: مقایسه میزان محبوبیت تنسورفلو و پای تورچ در طول زمان	103
تصویر 5-8: مقایسه ورژن های مختلف شبکه یولو از نظر سرعت و دقت	104
تصویر 5-9: مقایسه سرعت آموزش با CPU و GPU	105
تصویر 5-10: تشخیص مقره های سالم توسط شبکه به همراه درصد قطعیت، بندر عباس شهرک گاز خط 20 کیلو ولت ..	107
تصویر 5-11: دوربین اکشن دارای وای فای با کیفیت 4K	108
تصویر 5-12: نمونه ای از یک لرزشگیر برای پرنده	109
تصویر 5-13: نصب دوربین بر روی لرزشگیر	110
تصویر 5-14: تصویر ثبت شده از دکل برق توسط پرنده در حال پرواز در روستای سردره استان هرمزگان.	110
تصویر 5-15: تصویر ثبت شده با موبایل- دکل 63KV شهرک گاز بندر عباس	111
تصویر 6-1: صفحه منو در پنل کاربری	115
تصویر 6-2: صفحه نمایش بر خط پنل کاربری- خط 20 کیلو ولت شهرک گاز ،	116
تصویر 6-3: صفحه آنالیز - تصویر خط 200 کیلو ولت الومینیوم المهدی هرمزگان	117
تصویر 6-4: خط 63 کیلو ولت - بندر عباس شهرک گاز تصویر خام گرفته شده از کواد کوپتر	119
تصویر 7-2: تصویر پردازش شده توسط شبکه عصبی	120

فهرست جداول

جدول 1-1 حریم یک خط هوایی در ولتاژ های مختلف مورد تایید وزارت نیرو ... 28

فهرست علائم

علائم لاتین

۰ مقدمه

به منظور بررسی شبکه خطوط هوایی انتقال در ابتدا لازم است که با اصطلاحات و اجزای این شبکه از قبیل دکل و المان های آن آشنا گردید که در فصل اول به این موضوع پرداخته شده است.

در فصل دوم المان هایی از خطوط انتقال مانند مقره ها و نحوه قرار گیری آن ها در خطوط انتقال قدرت که در این پروژه قصد بررسی و تعیین سلامت آن ها مورد بحث است ، در دست مطالعه قرار گرفته است.

در فصل سوم پرنده های مختلف از قبیل بال ثابت و چند پره بررسی شده اند و مزایا و معایب هر یک در بررسی خطوط انتقال شرح و بیان شده است.

در فصل چهارم به طراحی و راه اندازی یک پرنده چهار پره پرداخته شده است. پرنده چهار پره از قطعات مختلفی ساخته می شود که در ابتدا هر یک از این قطعات و نحوه ای استفاده از آن بیان شده است. در ادامه ای این فصل به برنامه ریزی و کالیبراسیون پرنده به وسیله ای ادغام دیتا های سنسوری با استفاده از فیلتر کالمون توسعه داده شده و هم چنین تنظیم ضرایب PID پرداخته می شود. همچنین در انتهای فصل مبحث ایزولاسیون سنسور های پرنده توسط صفحه ای آلومینیومی شرح داده شده است.

یادگیری ماشین و هوش مصنوعی از ابزار های گسترده و پر استفاده ای دنیای امروز می باشند. در فصل پنجم با استفاده از دیتا های موجود در اینترنت و از طرفی جمع آوری دیتای میدانی از طریق فیلم برداری با پرنده و دریافت اطلاعات نمونه های مشابه ، نحوه یادگیری شبکه عصبی مصنوعی و پیاده سازی آن در محیط سیستم عامل بیان شده است. از جانب دیگر یکی از بزرگترین معضلات موجود ، فیلم برداری و انتقال تصویر با کیفیت قابل قبول بر روی پرنده می باشد که در ادامه ای فصل به نحوه رفع چالش لرزش در هنگام پرواز و انتقال تصویر به سیستم عامل و ارائه راهکار های موجود پرداخته می شود.

به جهت نمایش اطلاعات خروجی به کاربر و اپراتور ، در فصل ششم به نحوه طراحی محیط گرافیکی به وسیله زبان برنامه نویسی پایتون پرداخته شده است که در آن کاربر می تواند به بررسی و آنالیز دیتا ها در هنگام پرواز به صورت بر خط بپردازد. همچنین محیط دیگری در

این رابط گرافیکی وجود دارد که کاربر می تواند دیتا های خود را به نرم افزار داده و خروجی را به صورت پردازش شده دریافت نماید.

در فصل هفتم به بررسی نتایج حاصله از پرواز در نزدیکی یک تیر برق فشار ضعیف و عملکرد بخش های مختلف سیتسیم پرداخته شده که عملکرد نحوه پرواز و خروجی آن در پنل کاربری قابل مشاهده است.

1 فصل اول

خطوط انتقال هوایی و اجزای تشکیل دهنده آن

1.1 مقدمه ای بر خطوط انتقال هوایی

خطوط انتقال هوایی رایج ترین خط انتقال موجود در سطح دنیاست که در آن از دکل برق یا تیر برق برای نگه داشتن کابل‌ها بالاتر از سطح زمین استفاده می‌شود. در این خطوط از هوا به عنوان عایق اصلی کابل‌ها استفاده می‌شود به همین دلیل این روش انتقال یکی از کم هزینه‌ترین و رایج‌ترین روش‌های انتقال برق است.

در ادامه به منظور ارائه بهتر در جهت بازرگانی از این خطوط اصطلاحات رایج و اجزا مختلف این سیستم را شرح خواهیم داد. [1]

1.2 اصطلاحات و اجزای تشکیل دهنده خطوط انتقال هوایی

خطوط انتقال هوایی دارای اجزاء گسترده و اصطلاحات فراوانی است که در ادامه از رایج‌ترین آن‌ها را شرح خواهیم داد.

- **هادی:** به کابل‌های انتقال دهنده جریان الکتریکی هادی می‌گویند.
- **دکل:** پایه وظیفه نگهداری هادی‌های خط انتقال نیرو را می‌گویند. پایه‌های مورد استفاده به دو نوع تیر و دکل تقسیم می‌شوند.
- **مقره :** مقره‌ها تجهیزاتی در شبکه انتقال قدرت می‌باشند که در جهت نگه داشتن هادی‌های الکتریکی دارای ولتاژ و عایق سازی آن‌ها از بازو‌های نگهدارنده پایه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مورد در فصل دوم بحث خواهد شد.
- **زنجیره مقره :** نحوه اتصال مقره به پایه به صورت یک زنجیره از مقره‌ها صورت می‌گیرد. این مورد در فصل دوم بحث خواهد شد.
- **دکل آویزی :** در این نوع پایه، هادی از روی زنجیره مقره عبور کرده و زنجیره مقره تنها نیروی وزن هادی را تحمل می‌کند.



تصویر 1-1 : نمونه ای از دو دکل آویزی

- **دکل کششی :** این نوع از پایه، هادی در انتهای زنجیره مقره متصل می شود و زنجیره مقره نیروی کششی را تحمل می کند.



تصویر 1-2 نمونه ای از یک دکل کششی

- **دکل انتهایی :** این پایه مانند دکل کششی است که در انتهای خط قرار می گیرد و زنجیره مقره فقط از یک طرف به پایه متصل است.
- **اسپن :** فاصله افقی میان دو پایه افقی را اسپن می گویند که واحد آن متر می باشد.

- سکشن : قسمتی از خط انتقال محدود به دو دکل کششی که بین آن ها تعدادی دکل آویزی قرار دارد.
- ترانسفورماتور: این وسیله در جهت تبدیل ولتاژهای الکتریکی Ac به یکدیگر بکار می روید.



تصویر 1-3 نمونه ای از یک ترانسفورماتور $33\text{kv} \times 200\text{A}$

- بالمارکر : این گوی ها به منظور آگاهی خلبان های وسیله های پرنده به منظور آگاهی از خطوط انتقال می باشد.



تصویر ۱-۴ مونه ای از استفاده از بالمارکر در خطوط انتقال هوایی

- **برقگیر** : وسیله‌ای است که در شبکه‌های الکتریکی برای حفاظت تجهیزات در مقابل صدمات ناشی از اضافه ولتاژهای ناگهانی مانند صاعقه بکار می‌رود. [1]



تصویر ۱-۵ نمونه ای از یک برقگیر

1.3 پدیده کرونا:

کرونا، پدیده ایست که در میدان های استوانه ای شکل مشابه یک تخلیه ناقص است و در میدان های غیر یکنواخت مانند خطوط انتقال برق هوایی به شکل هاله ایجاد می شود. از آنجایی که این نوع تخلیه ها تلفاتی را در بر دارند لذا در صنعت باید تا آنجا که ممکن است از به وقوع پیوستن کرونا جلوگیری کرد.

کرونا علاوه بر تلفات انرژی، ضررهای مهم دیگری در بر دارد. به عنوان مثال، تولید اوزن باعث آلودگی محیط زیست شده و از طرفی انتشار امواج الکترومغناطیسی ایجاد پارازیت میکند. کرونا در خطوط ولتاژ ضعیف معمولاً به صورت شنیداری ظاهر می شوند و با افزایش ولتاژ سبب ایجاد نور و در نهایت هاله ای معمولاً به دور محل های اتصال هادی با دکل خواهد بود.



تصویر 1-6 ظاهر شدن پدیده کرونا در خطوط انتقال به صورت هاله ای از نور

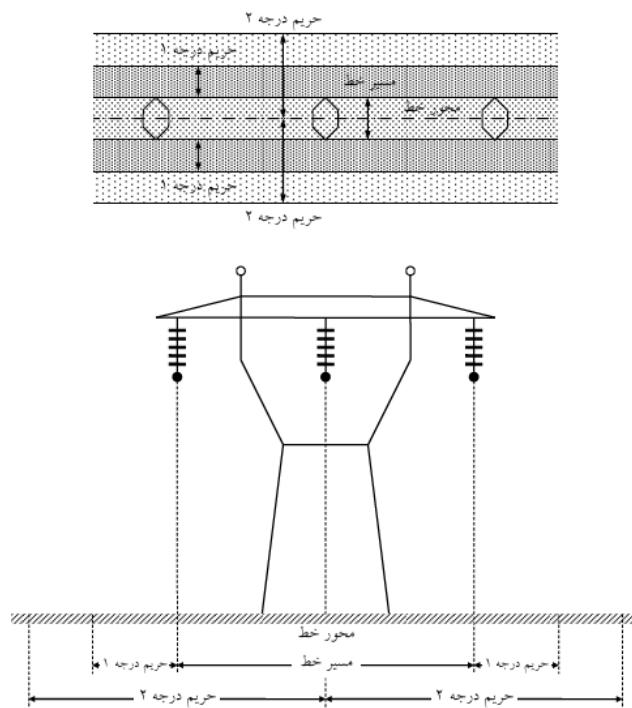
پدیده کرونا از مهمترین عوامل و خطرات برای نزدیکی اجسام الکترونیکی و الکتریکی به نزدیکی دکل برق می باشند که چالش های رفع این اثر را در فصل های آینده بررسی خواهد شد. [1]

1.4 حریم خطوط هوایی

برای رعایت مقررات ایمنی و حفاظتی و جهت حفظ و نگهداری و تعمیرات خطوط انتقال انرژی هوایی در زیر خطوط و در فواصلی معین از آن احداث ابنيه و درخت کاری ممنوع می

باشد. این فاصله حریم های خطوط انتقال انرژی نامیده می شود. در زیر اصطلاحات مربوط به این بخش را بررسی خواهیم کرد.

- محور خط : خط فرضی بین مراکز پایه های خط انتقال انرژی محور خط نامیده می شود.
- مسیر خط : نواری روی زمین موازی محور خط که حد خارجی دو طرف آن تصویرهای هادی های جانبی خط روی زمین می باشد.
- حریم درجه 1 : دو نوار در دو طرف مسیر خط و متصل به آن که عرض هر کدام درجه 1 خط نامیده می شود. در این حریم هرگونه عملیات ساخت و ساز ، ایجاد باغ و درختکاری ممنوع می باشد و ایجاد کشاورزی فصلی و سطحی ، حفر چاه و قنات و راه سازی به شرط عدم آسیب به تجهیزات مجاز می باشد.
- حریم درجه 2 : دو نوار در دو طرف حریم درجه 1 و متصل به آن که فاصله افقی حد خارجی آن از محور خط حریم درجه 2 نامیده می شود. در این حریم ایجاد تاسیسات ساختمانی ممنوع می باشد.



تصویر 1.6 حریم یک خط هوایی

در جدول 1.1 این محدوده را برای ولتاژ های مختلف مورد تایید وزارت علوم می بینید.

ولتاژ خط(کیلو ولت)	حریم درجه 1 (متر)	حریم درجه 2 (متر)	20	33	63	132	230	400	750
25	9	5	3	5	15	30	40	50	60
			3	5	15	20	30	40	50

جدول 1-1 حریم یک خط هوایی در ولتاژ های مختلف مورد تایید وزارت نیرو

در محدود شهری می توان از حریم درجه 2 صرف نظر کرد و حریم درجه 1 را تا 30 درصد کاهش داد که این متناسب با تایید شورای شهر و شهرداری ها با تایید مراجع ذیصلاح می باشد. [1]

فیلم برداری از خطوط انتقال در این پروژه در محدوده فاصله خط حریم درجه 1 و 2 انجام می گردد. همچنین حدنهایی نزدیک برای فیلم برداری به ازای هر کیلوولت 1 سانتی متر در نظر گرفته شده است. برای مثال برای یک دکل 63 کیلو ولت 63 سانتی متر نهایت نزدیکی به دکل را شامل می شود.

الفصل دوم 2

مقره

2.1 مقره چیست؟

مقره ها تجهیزاتی در شبکه انتقال قدرت می باشند که در جهت نگه داشتن هادی های الکتریکی دارای ولتاژ و عایق سازی آن ها از بازو های نگهدارنده پایه ها مورد استفاده قرار واقع می شوند . [1]

2.2 ویژگی های یک مقره :

یک مقره برای قرار گیری در خطوط انتقال لازم است ویژگی های خاصی را دار باشد تا بتواند عمر مفید قابل قبولی را داشته باشد. از جمله این ویژگی ها عبارتند از [1] :

- استقامت الکتریکی بالا
- استقامت مکانیکی بالا
- عاری از هر گونه ناخالصی و حفره داخلی
- استقامت در برابر تغییرات دمایی
- ضریب اطمینان بالا
- ضریب تلفات عایقی پایین
- مقاوم در برابر رطوبت و آلودگی

2.3 انواع مقره:

مقره ها دارای دسته بندی ها مختلف و فراوانی می باشند که ما آن ها را در سه دسته بندی از نظر جنس، کاربرد و شکل آن ها دسته بندی می کنیم.

2.3.1 انواع مقره از نظر جنس:

- مقره های پرسیلینی : این مقره ها از سه ماده خاک چینی با نسبت 40 تا 50 درصد ، فلدسپات با نسبت 25 تا 30 درصد و پودر کوارتز با نسبت 25 تا 30 درصد تشکیل

شده است. این مقره ها با نام های مقره های چینی و سرامیکی نیز شناخته می شوند.

عمده مقره های بررسی شده در این پژوهه از این نوع مقره می باشد.

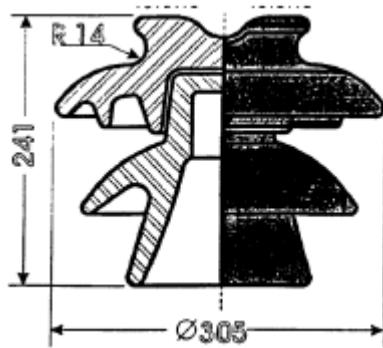
- **مقره های شیشه ای :** این نوع مقره از موادی چون پودر کوارتز ، آهک ، سود و منیزیم و در شرایط خاص با دمای بالا و سردسازی ناگهانی قالب گیری می شوند.
- **مقره های کامپوزیتی :** این نوع مقره ها از مواد کامپوزیتی و ترکیبی از پلیمر ها ساخته می شوند و در برابر پرتو فرابنفش مقاوم هستند.
- **مقره های رزینی :** این نوع مقره اغلب از ترکیبات بی سفل آ و اپیکلروهیدرین ساخته می شود و برای سخت تر شدن آن از افزودنی هایی مانند کوارتز بهره می برند.

2.3.2 انواع مقره از نظر کاربرد:

- **مقره های خطوط هوایی :** این نوع مقره ها در خطوط هوایی انتقال کاربرد دارند.
- **مقره های اتکایی :** این نوع مقره ها برای عایق سازی تجهیزاتی مانند بار ها در پست های فشار قوی و تابلو های الکتریکی کاربرد دارد.
- **مقره های عبوری :** این مقره برای عبور هادی ها از دیواره یا بدنه تجهیزات الکتریکی مانند ترانسفورماتور ها کلید خازن و سلف مورد استفاده قرار می گیرد.

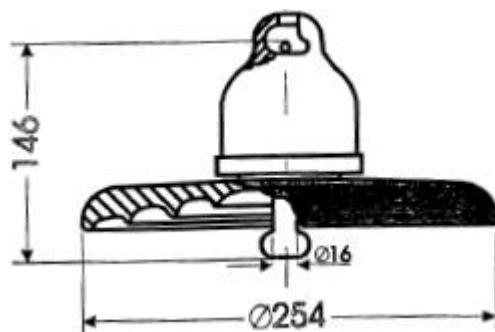
2.3.3 انواع مقره از نظر شکل:

- **مقره سوزنی:** این مقره توسط یک سوزن یا میخ فولادی گالوانیزه به بازوی پایه متصل می گردد.

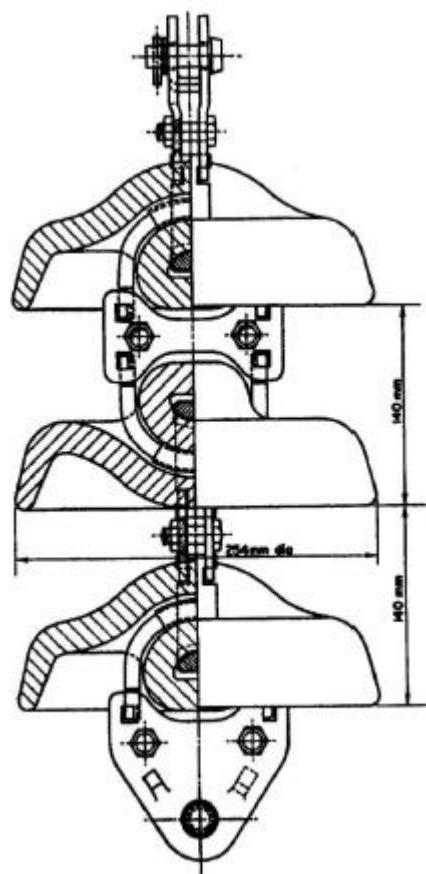


تصویر ۰-۱ تصویری شماتیک از مقره سوزنی ۳۳ کیلو ولتی

- مقره های بشقابی : این نوع مقره ها شبیه یک بشقاب هستند و در ولتاژ های بالای ۵۰ کیلو ولت کاربرد دارند. از ویژگی های این نوع مقره می توان به قابلیت افزایش یا کاهش سری آن ها اشاره کرد.

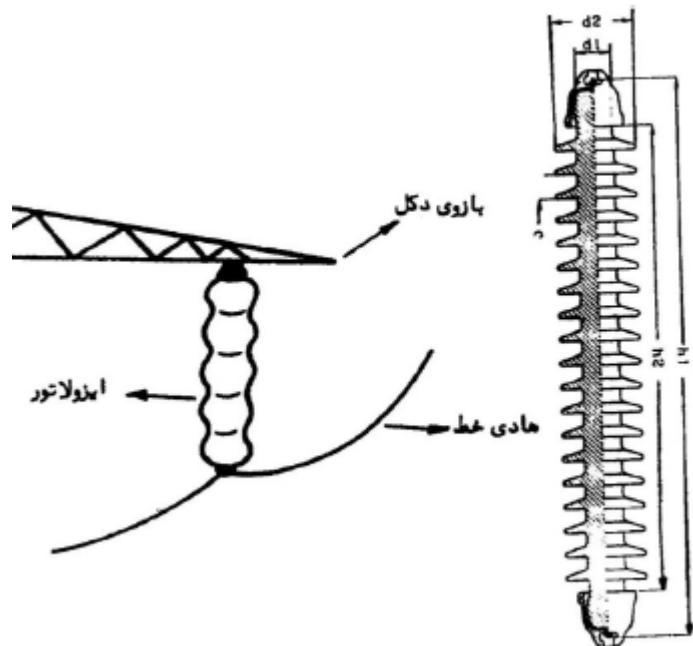


تصویر ۰-۲ تصویری شماتیک از مقره بشقابی



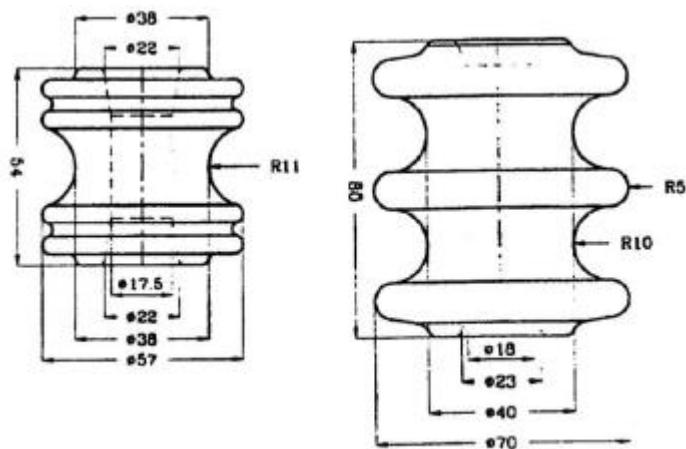
تصویر ۳-۰ شماتیک از مقره بشقابی فشار قوی

- مقره‌ی استوانه‌ای : این مقره در واقع چندین مقره‌ی بشقابی ولی به صورت یکپارچه می‌باشند.



تصویر ۰-۴ تصویری شماتیک از مقره استوانه‌ای و نحوه قرار گیری آن بر روی پایه

- مقره چرخی یا قرقه‌ای : این نوع مقره در خطوط فشار ضعیف قرار می‌گیرد این مقره‌ها توسط یک تسمه U شکل به نام اتریه به پایه‌ای به نام راک متصل می‌گردد.



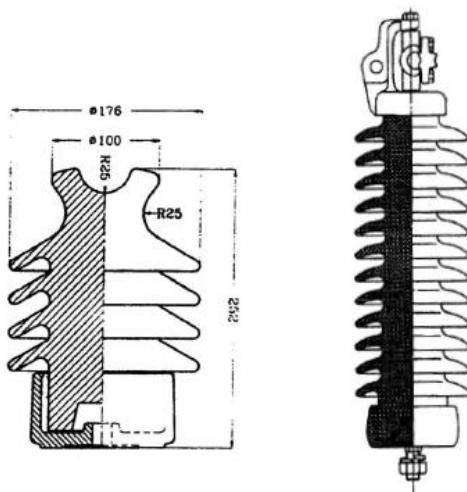
تصویر ۰-۵ شماتیک از دو نوع مقره چرخی؛ سمت راست مقره دوشیار، سمت چپ مقره تک شیار

- مقره مهار : سیم فولادی مهار در شبکه‌های توزیع برای پایه‌های قرار گرفته در ابتداء و انتهای خط و همچنین پایه‌های قرار گرفته در زاویه جهت کاهش نیروی کشش افقی وارد بر تیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.



تصویر ۰-۶ تصویری شماتیک از مقره مهار از زوایه جلو و رو به رو

- مقره های مخصوص : این نوع مقره ها برای شرایط خاص طراحی و تولید می شوند . از جمله این محیط ها می توان به محیط با آلایندگی بالا ، محیط های دارای رعد و برق زیاد اشاره کرد. [1]

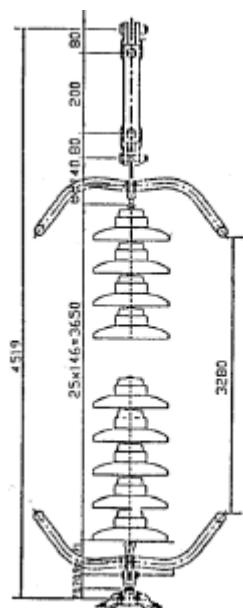


تصویر ۰-۷ نمونه ای شماتیک از دو نوع مقره مخصوص : سمت راست مقره مخصوص خطوط انتقال ، سمت چپ ، مقره مخصوص پست های فشار قوی

2.4 انواع زنجیره مقره

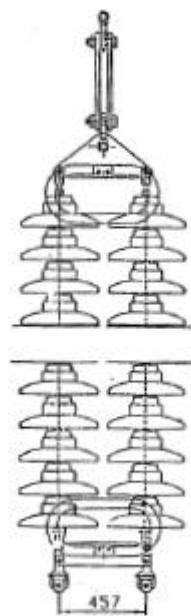
نحوه اتصال مقره در سیستم توزیع دارای انواع گوناگونی می باشد که در زیر برخی از رایج ترین آن ها را می بینید.

- **زنجیره مقره آویزی I** : زنجیره مقره در این حالت به صورت عمودی شبیه به حرف I می باشد. این نوع زنجیره متداول ترین نوع زنجیره می باشد و به صورت گسترده در ولتاژ های فشار متوسط و فوق توزیع عموما تا 132 کیلو ولت کاربرد دارد.



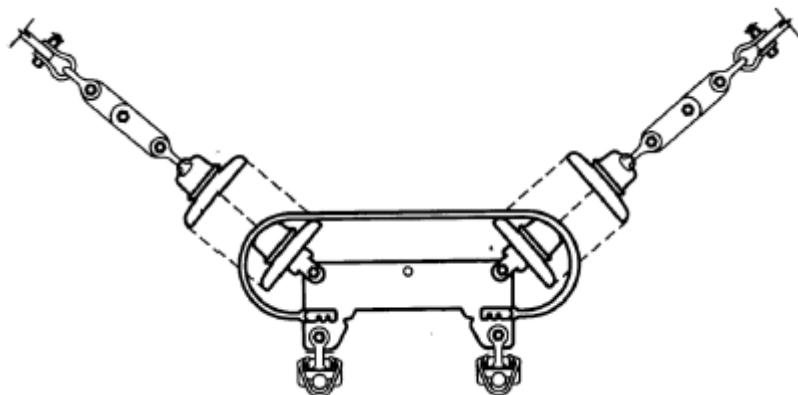
تصویر ۸- زنجیره مقره آویزی I

- **زنجیره مقره آویزی II :** این نوع زنجیره مقره مشابه زنجیره مقره آویزی I ولی با مقاومت مکانیکی بالاتر می باشد.



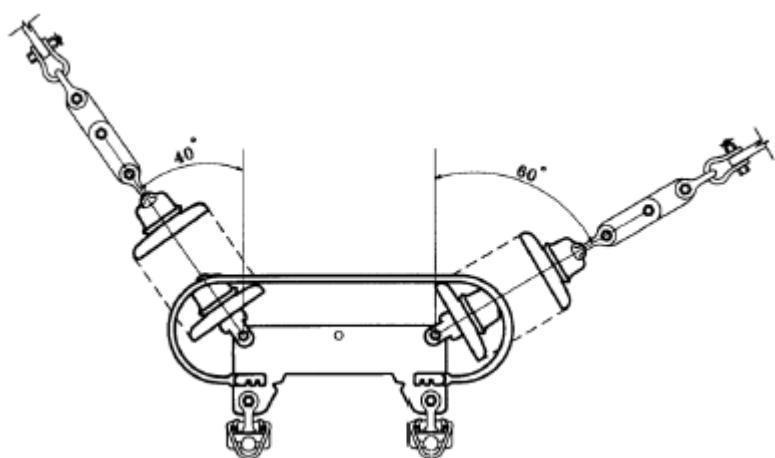
تصویر ۹- زنجیره مقره آویزی II

- آویزی V متقارن : این نوع زنجیره در جهت کاهش باند مسیر عبور خط می باشد. از دیگر مزایای این نوع زنجیره مقره می توان به کاهش ماندگاری آلودگی بر روی مقره ها اشاره کرد.



تصویر 10-0 زنجیره مقره آویزی V متقارن

- زنجیره مقره آویزی V نامتقارن : این نوع زنجیره مقره آویزی مانند زنجیره مقره آویزی V متقارن می باشد با این تفاوت که کاربرد عمده آن در یک اسپن با دکل های غیر هم سطح برای کاهش نیروی وارد بر زنجیره مقره می باشد.



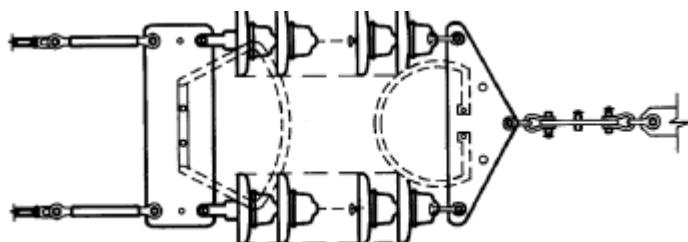
تصویر 11-0 زنجیره مقره آویزی V نامتقارن

- زنجیره مقره آویزی V دوبل : زنجیره مقره آویزی V متقارن و در جهت افزایش مقاومت مکانیکی بالاتر می باشد.
- زنجیره مقره کششی I : در زنجیره مقره کششی نیروی کشش هادی به مقره اعمال می شود و تمامی بار های وارد شده به هادی از طریق زنجیره مقره به پایه متصل می شود.



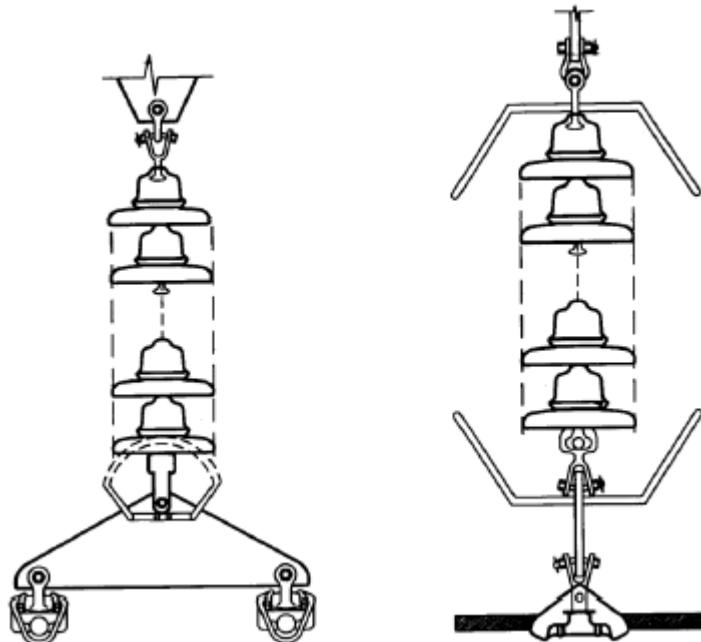
تصویر ۰-۱۲ زنجیره مقره کششی I

- زنجیره مقره کششی II: این نوع مقره ها متداول ترین نوع زنجیره در ولتاژ های بالا (EHV) می باشد.



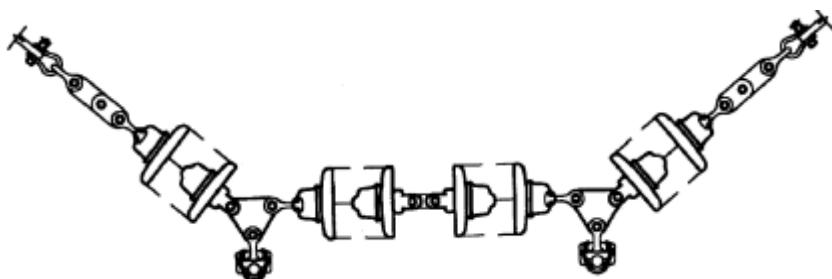
تصویر ۰-۱۳ زنجیره مقره کششی II

- زنجیره مقره کششی III: مانند زنجیره مقره کششی II جهت دست یابی به مقاومت مکانیکی بالاتر می باشد.
- زنجیره مقره جامپر: این نوع مقره در پایه های کششیجهت کنترل حلقه جامپر از بدنه پایه مورد استفاده قرار می گیرد.



تصویر ۱۴-۰ زنجیره مقره جامپر

- زنجیره مقره ذوزنقه ای: این نوع مقره زنجیره مقره عموماً در خطوط دو مداره که هادی فاز ها به صورت افقی قرار می گیرند مورد استفاده واقع می شود. [1]

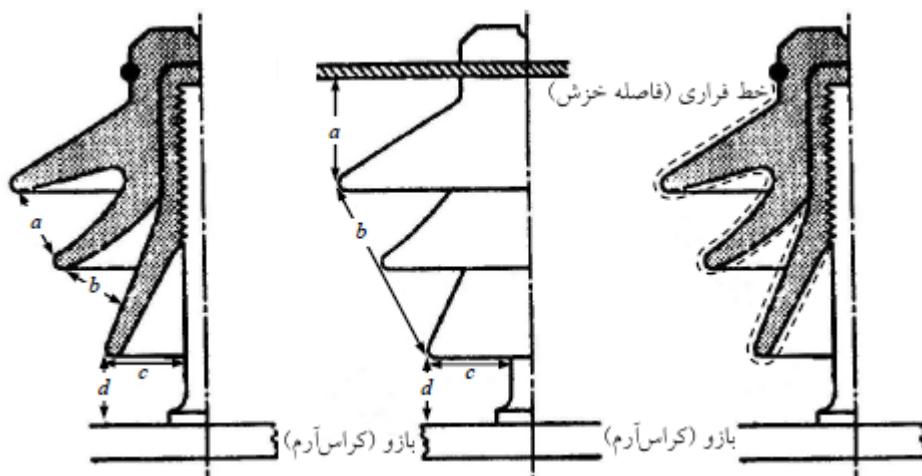


تصویر ۱۵-۰ زنجیره مقره ذوزنقه ای

2.5 آسیب دیدگی مقره ها

هر چند یک مقره در شرایط عالی و با بهترین مواد ساخته شود ، در نهایت روزی آسیب خواهد دید . از جمله عوامل ایجاد آسیب در یک مقره می توان به موارد زیر اشاره کرد.

- تخلیه از طریق هدایت سطحی و فاصله خرزش: این نوع تخلیه هنگامی روی می دهد که مقره به دلیل آلودگی یا مرطوب بودن خاصیت عایقی پایین تری داشته باشد.



تصویر 0-16 تخلیه الکتریکی در سطح مقره به ترتیب از راست به چپ از سطح مقره ، در هوای خشک و در هوای مرطوب

- تخلیه ای الکتریکی در حالت خشک : این نوع تخلیه الکتریکی هنگامی روی می دهد که سطح مقره خشک و تمیز باشد. مسیر جرقه به وجود آمده در این حالت کوتاه ترین مسیر میان هادی خط و بازو پایه می باشد.
- تخلیه ای الکتریکی در حالت مرطوب : این نوع تخلیه هنگامی روی می دهد که سطح مقره مرطوب و آلوده باشد. در این حالت سطح بالایی چتر ها خاصیت عایقی را از دست داده و حتی ممکن است هدایت خوبی را از خود نشان دهد.
- تخلیه ای الکتریکی داخلی و سوراخ شدن مقره : در صورتی که تخلیه ای الکتریکی به جای آنکه از سطح خارجی مقره انجام شود از داخل مقره انجام شود موجب از بین رفتن مقره می گردد.

- تخلیه ای الکتریکی در اثر موج ولتاژ ضربه ای : تخلیه الکتریکی روی مقره با نرخ های مختلف انجام می گیرد. هر چه پیک موج ضربه ای بیشتر باشد این نرخ افزایش می یابد. [1] [2]

2.6 روش عیب یابی در مقره ها

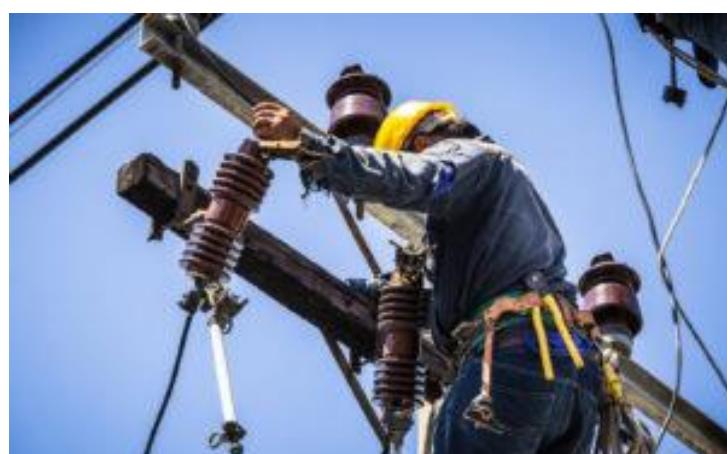
از جمله روش های دقیق برای تعیین خرابی مقره ها استفاده از دوربین ترمومتری می باشد. این نوع دوربین ها توانایی نمایش حرارت خروجی و نمایش دمای آن را دارند ولی مشکل عمده آن قیمت بسیار بالای این نوع دوربین ها (حداقل 200 دلار) می باشد. از این رو روش های جایگزینی را برای تعیین آسیب دیدگی مقره را در زیر می بینید.

- شکستگی یا به اصطلاح لب پرشدن یک مقره
- آرک زدگی و تغییر رنگ
- سوراخ شدن
- کج شدن و آسیب دیدگی میله اتصال



تصویر ۰-۱۷ تصویر برداری گرمایی از دکل برق فشار قوی

روش های دیگری که برای عیب یابی از مقره ها به کار می آید ، روش عیب یابی به صورت میدانی است . بدین صورت که برای بررسی مقره ، اپراتور مربوطه به بالا دکل برق رفته و بازدید را انجام می دهد . در این نوع بازدیدها همواره خطرات سقوط از بالای دکل ، برق



تصویر ۰-۱۸ بازدید میدانی از محل اتصالات خطوط انتقال و مقره ها

گرفتگی ، پدیده کرونا و ... فرد بازدید کننده را تهدید می کند و متاسفانه در کشور ما همواره جان اپراتور ها در اثر بازدید میدانی گرفته می شود .

2.7 راه حل موجود برای رفع مشکلات بازدید میدانی

هدف اصلی این پروژه ارائه راهکاری برای کاهش خطرات بازدید میدانی است . استفاده از پرنده های بدون سرنشین با قابلیت تصویر برداری می تواند پاسخی بر این مسئله باشد . بدین صورت که پرنده بجای اپراتور به بالای دکل رفته و از زوایای مختلف به تصویربرداری از دکل ، مقره ، خط انتقال و ... می پردازد و در همین حین اپراتور با استفاده از پنل زمینی به مشاهده این تصاویر می پردازد . به علاوه اینکه پنل زمینی با استفاده از قابلیت پردازش تصویر، اپراتور را در تشخیص هر چه دقیق تر یاری می دهد .



تصویر ۰-۱۹ بازدید از خطوط انتقال قدرت با استفاده از پرنده چندپره

در ادامه به پرنده های بدون سرنشین و قابلیت های آن ها پرداخت خواهد شد .

3 فصل سوم

پرنده های بدون سرنشین

3.1 مقدمه ای بر پرنده های بدون سرنشین (پهپاد)

پرنده های بدون سرنشین به دلیل هزینه های پایین ساخت و عملکرد قابل توجهی که دارند نقش مهمی را در صنایع مختلف نظامی ، عمرانی و ... ایفا می کنند . امروزه این نوع پرنده ها در زمینه های مختلفی همچون امداد و نجات ، عکاسی و فیلم برداری هوایی ، بررسی معادن ، حمل بار ، سم پاشی زمین های کشاورزی ، پایش خطوط برق و گاز و ... کاربرد فراوانی دارند



تصویر 1-3 پایش خطوط برق و گاز توسط پهپاد



تصویر 2-3 اطفای حریق در مناطق جنگلی با استفاده از پرنده های بال ثابت



تصویر ۳-۳ مسیریابی به وسیله کوادکوپتر برای شرایط سیل زدگی



تصویر ۴-۳ سم پاشی زمین های کشاورزی با استفاده از کوادکوپتر

از جمله قابلیت این نوع پرنده ها هدایت از راه دور است که باعث کاهش تلفات انسانی و دقت عملکردی بالا در صنایع مختلف می گردد .



تصویر ۵-۳ مشاهده برخط تصاویر گرمایی پرنده و کنترل از راه دور آن

برای بازدید از خطوط انتقال قدرت نیز کشور هایی همچون چین و ژاپن از این پرنده ها در قالب عکس برداری هوایی استفاده می کنند . در کشور ما به ندرت از این پرنده ها برای بازدید و عکس برداری از خطوط انتقال استفاده می شده است . نا آشنا بودن با قابلیت های پرنده های بدون سرنشین در صنایع برق و عدم ورود به این حوزه از دلایل عدم استفاده از پرنده های بدون سرنشین می باشد. پرنده های بدون سرنشینی که می توان برای این کار استفاده کرد چهارپره(کوادکوپتر) ، شش پره (هگزو کوپتر) و بال ثابت می توان نام برد که در ادامه ویژگی های هر یک از پرنده های ذکر شده بررسی خواهد شد.

3.1.1 کواد کوپتر

کوادکوپتر یکی از مهم ترین دسته بندی های مهم خانواده مولتی روتور هاست که از چهار بازو ، چهار موتور و چهار ملخ تشکیل شده است . در ساختمان یک کوادکوپتر سنسور هایی وجود دارد که به پرواز با ثبات و دقیق مدل پروازی بسیار کمک می کند . رادیو کنترل یک جزء بسیار مهمی است که به کمک آن می توان هدایت و کنترل پرنده را در دست گرفت . رادیو کنترل ها منجر به هدایت پهپاد در محدوده ای بر رادیویی مجاز می شوند . یکی از معایب بزرگ این نوع پرنده ها مصرف زیاد باتری و زمان پروازی بسیار کم آن ها است . معمولا



تصویر 3-6 کوادکوپتر سایما به همراه دوربین

کوادکوپتر ها در بهترین شرایط می توانند 20 دقیقه تا نیم ساعت زمان پروازی داشته باشند که بعد از آن باتری آن ها به خالی شده و باید دوباره شارژ شود

3.1.2 هگزو کوپتر

هگزوکوپترها، پرنده های شش موتوره ای هستند که دارای شش بازو نیز می باشند. این پرنده ها دارای سایز و ابعاد مختلفی هستند. اما بازار هگزوکوپتر ها در پرنده های دست ساز می باشد و بیشتر برای پروژه ها و اهداف صنعتی، کشاورزی و نظامی به چشم می خورد. هگزوکوپتر ها معمولا برای مصارف خاص و پژوهشی طراحی و ساخته می شوند.



تصویر 7-3 هگزوکوپتر دارای gps

از مزایای هگزوکوپترها می توان به توانایی حمل وزن 12 کیلوگرم، پایداری بسیار خوب در شرایط جوی نامساعد و دقت بالا در انجام دستورات می توان نام برد این نوع پرنده ها هم چون کواد کوپتر دارای مصرف باتری بسیار زیادی هستند و برای مسافت های دور زمان پرواز کمی دارند.

3.1.3 بال ثابت

این نوع پرنده های به دلیل سرعت بالا آن ها می توانند مسافت های بسیار طولانی را طی کنند و با مصرف انرژی کمتر ، مسافت طی شده آن ها نسبت به کوادکوپتر و هگزوکوپتر بسیار بیشتر است . اما برای ثبت تصاویر با جزئیات بالا کواد کوپتر و هگزوکوپتر که عمود پرواز هستند عملکرد بهتری را از خود نشان می دهند و پرنده بال ثابت برای ثبت تصاویر با زاویه دید وسیع بکار گرفته می شود .



تصویر 3-8 هواپیما بدون سرنشین Hawk's lancaster

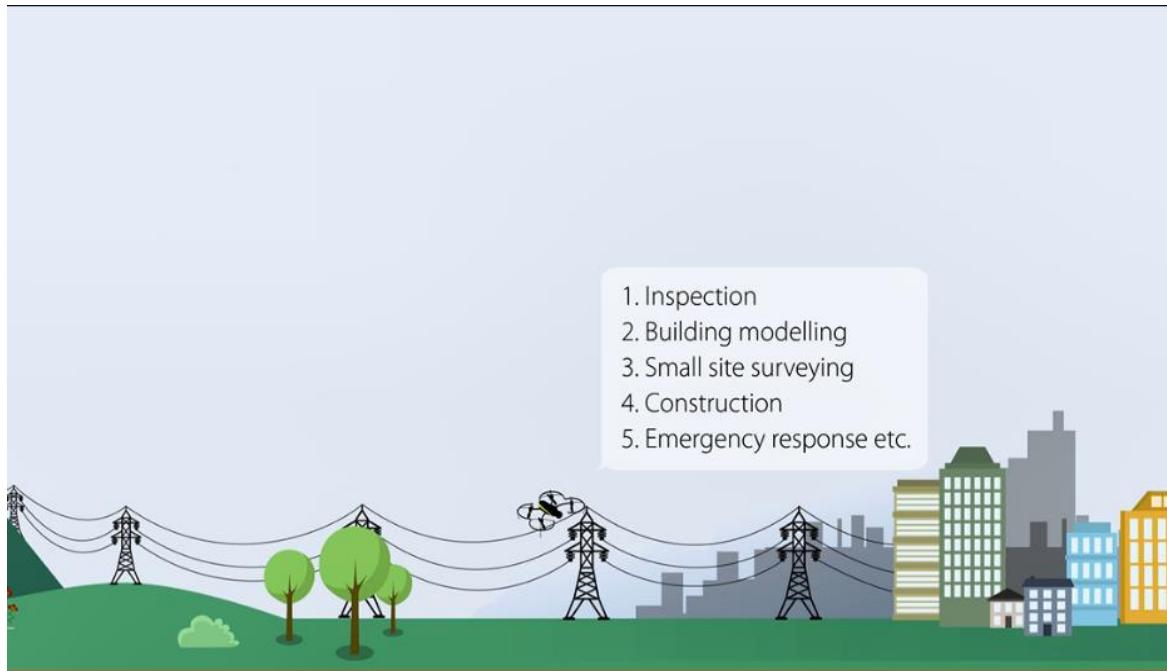
3.1.4 مقایسه و انتخاب پرنده مناسب جهت بازدید از خطوط انتقال برق

انتخاب بین پرنده بال ثابت و چند پره به عواملی بستگی دارد که در زیر به آن می پردازیم [3] :
نوع منطقه بازدید :

برای استفاده هایی همچون نقشه برداری ، بررسی های جغرافیایی ، کشاورزی ، معادن و ... از پرنده های بال ثابت به کار گرفته می شوند در عوض برای استفاده هایی همچون بررسی های جزئی ، ساختمانی ، مکان های کوچک ، پاسخ های سریع از پرنده های چند پره استفاده می - گردد.



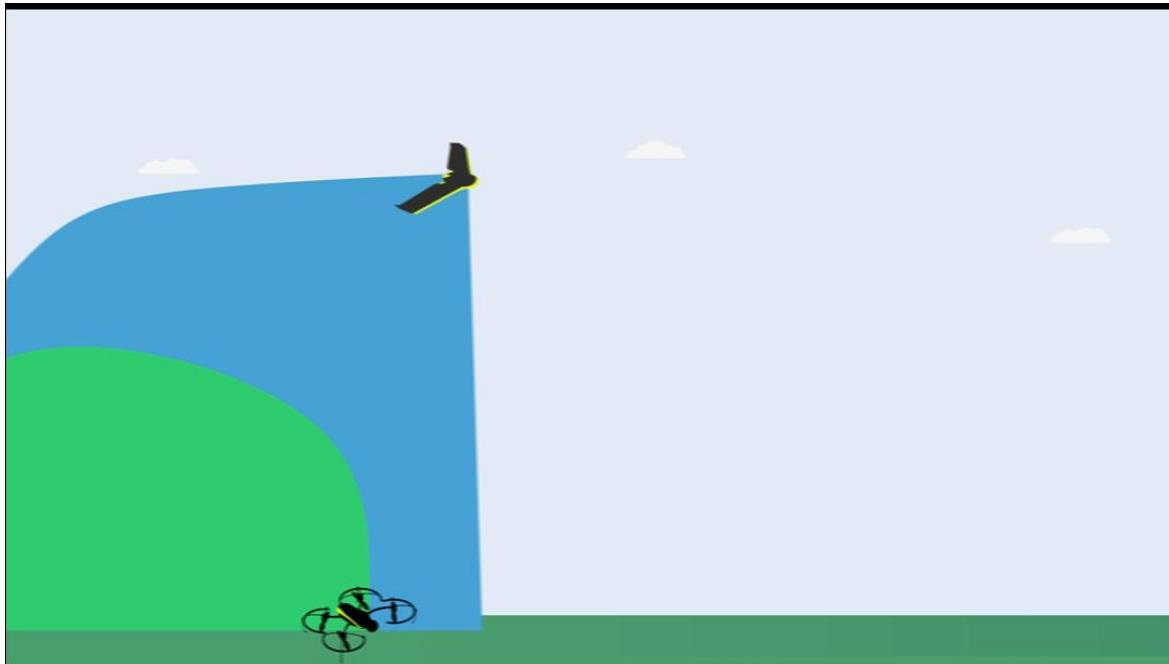
تصویر ۹-۳ موارد استفاده از پرنده بال ثابت



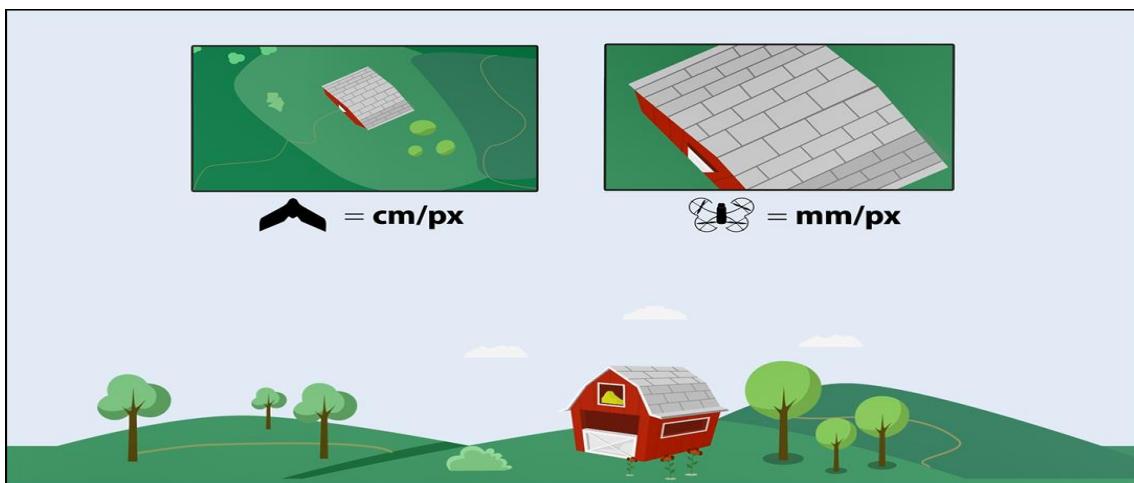
تصویر ۱۰-۳ موارد استفاده از پرنده چنده پره

وسعت دید :

در میزان وسعت دید پرنده های بال ثابت دارای دید وسیع تر نسبت به پرنده های چنده پره هستند .



تصویر ۱۱-۳ مقایسه میزان وسعت دید و محدوده پوشش داده شده بین پرنده بال ثابت و چند پره



تصویر ۱۲-۳ مقایسه پرنده بال ثابت و چند پره از نظر وضوح تصویربرداری

وضوح تصاویر ثبت شده در پرنده های بال ثابت به دقت سانتی متر بر پیکسل و در پرنده های چند پره به میلی متر بر پیکسل می رسد . در آخر با جمع آوری این داده ها می توان به جمع بندی و نتیجه گیری در مورد انتخاب پرنده مناسب جهت تصویر برداری از خطوط انتقال برق رسید .

		
Projects	Mapping	Inspection
Coverage	Large	Small
Resolution	cm/px	mm/px
Wind resistance	<12m/s	<8m/s
Landing area	Large	Very small

شکل 1-3 مقایسه کلی بین پرنده بال ثابت و چند پره

برای بازدید از المان های خطوط انتقال نیاز به تصویری با وضوح بالا و زاویه دید متوسط می باشد. بنابراین با توجه به توضیحات داده شده پرنده چند پره برای این کار مناسب تر است. در این پروژه جهت پیشبرد اهداف از پرنده چهارپره استفاده می شود.

4 فصل چهارم

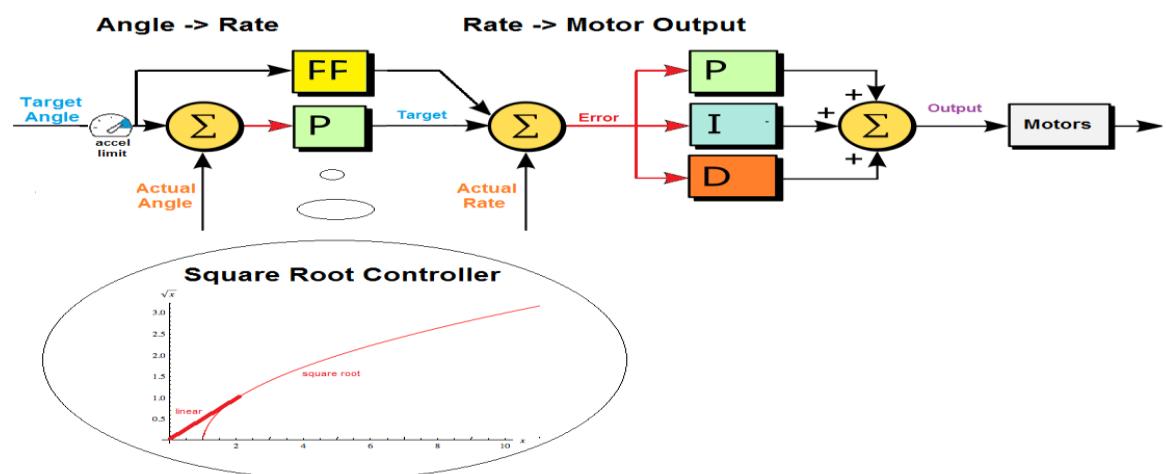
پرنده چهارپره (کوادکوپتر)

در این فصل به طور کامل به اجزای تشکیل دهنده کوادکوپتر همچون خلبان خودکار(اتوپایلوت) ، موقعیت یاب gps ، موتور ، اسپید کنترلر ، دسته رادیویی، بدن و باتری پرداخته می شود و در آخر به نحوه شبیه سازی پرنده در محیط gazebo ، ساخت پرنده و روش های شیلدینگ و گراندینگ پرنده پرداخته می شود. یکی از موضوعات مورد بحث حالت هدایت خودکار پرنده (autonomous) و نرم افزار Qgroundcontrol است که از اهمیت ویژه ای برخوردار است .

4.1 خلبان خودکار(اتوپایلوت)

خلبان خودکار یا همان اتوپایلوت لفظی است که برای کنترل کننده پرنده به کار می رود . در واقع تمام وظایف کنترلی برای پایدار سازی پرنده در شرایط جوی مختلف بر عهده این قسمت می باشد.

وظیفه اصلی این قسمت استخراج کامل اطلاعات سنسور های مختلفی همچون شتاب ، ژایرو ، ارتفاع سنج و ... است و با ترکیب داده های سنسوری با استفاده از فیلتر های کالمن می تواند بسیاری از نویز ها را حذف کرده و با قرار دادن یک کنترل کننده PID مجزا برای هر حلقه کنترلی محورهای مختلف (roll ، pitch ، yaw) سعی در متعادل نگه داشتن پرنده را دارد و می تواند به پرنده دستورات سرعت و موقعیت را بدهد . شکل زیر تصویر کامل از ساختار کنترلی که برای هر محور به کار رفته را نشان می دهد . [4]



تصویر 4-1 در این تصویر ساختار کنترلی که برای هر محور پرنده به صورت مجزا به کار رفته نشان داده شده است



تصویر ۴-۲ تعدادی از اتوپایلوت هایی که رایگان هستند

در پیاده سازی کنترل کننده از بین اتوپایلوت هایی که در تصویر بالا هستند می‌توان از دو اتوپایلوت معروف ardupilot و px4 استفاده کرد. این دو اتوپایلوت با پیاده سازی ساختار کنترلی PID به همراه فیلتر کالمن برای ترکیب سنسور ها، عملکرد بسیار خوبی را در پرواز از خود نشان داده اند و دارای حالت های پروازی مختلفی می‌باشند. به علاوه اینکه از دستورات در قالب پروتکل mavlink پیروی می‌کنند. خوشبختانه این اتوپایلوت ها کاملا رایگان و متن باز هستند. در مجموع این دو اتوپایلوت بسیار شبیه هم هستند ولی Ardupilot عملکرد بهتری را نسبت به Px4 در هنگام پرواز از خود نشان داده است در این پروژه نیز از Ardupilot استفاده شده است. در ادامه به بررسی این اتوپایلوت ها، سخت افزار مورد نیاز برای پیاده سازی آن، حالت هدایت خودکار و کنترل از راه دور آن پرداخته می‌شود.

4.1.1 آردوبایلوت

اردوبایلوت^۱ که به نام اردوبایلوت مگا^۲ نیز شناخته شده است، یک اتوپایلوت متن باز است که از سال ۲۰۰۷ توسط گروه DIYDrones آغاز شد. این اتوپایلوت قابلیت نصب روی انواع سامانه های بدون سرنشین اعم از هواپیما، مولتی روتور، ماشین و قایق را دارد. اردوبایلوت مگا در سال ۲۰۱۲ موفق شد جایزه UAV Outback Challenge را کسب کند.

اردوبایلوت بر اساس اردوبینو^۳ ساخته شده است. در نسخه های اولیه آن از سنسور های دمایی^۴ استفاده شده بود اما به زودی جای خود را به IMU داد. در IMU از جایرسکوپ و شتاب سنج به صورت همزمان استفاده می شود و دقت بسیار بالاتری دارد.

اگرچه ArduPilot هیچ سخت افزاری تولید نمی کند، سیستم عامل ArduPilot برای کنترل انواع وسایل نقلیه بدون سرنشین در انواع مختلفی سخت افزار کار می کند. همچنین با استفاده از نرم افزار کنترل زمینی، وسایل نقلیه بدون سرنشین که ArduPilot را اجرا می کنند امکان بهره مندی از قابلیت های پیشرفته ای از جمله ارتباط با اپراتورها به صورت زمان واقعی را دارند. ArduPilot دارای یک انجمن آنلاین عظیم است که به کاربران در زمینه پرسیدن سؤال و بیان مشکلات و گرفتن راه حل ها کمک می کند.

ArduPilot فریم ویرهایی برای ربات های مختلف دارد که از انواع آن ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

Plane: مورد استفاده برای پرنده های بال ثابت (1)

Copter: مورد استفاده برای مولتی کوپترها و بالگردهای سنتی (2)

Rover: برای ربات های زمینی و قایق (3)

Sub: برای ربات های زیردریایی (4)

Ardupilot¹

Ardupilot Mega-APM²

Arduino³

Thermopile⁴

ArduCopter 4.1.1.1

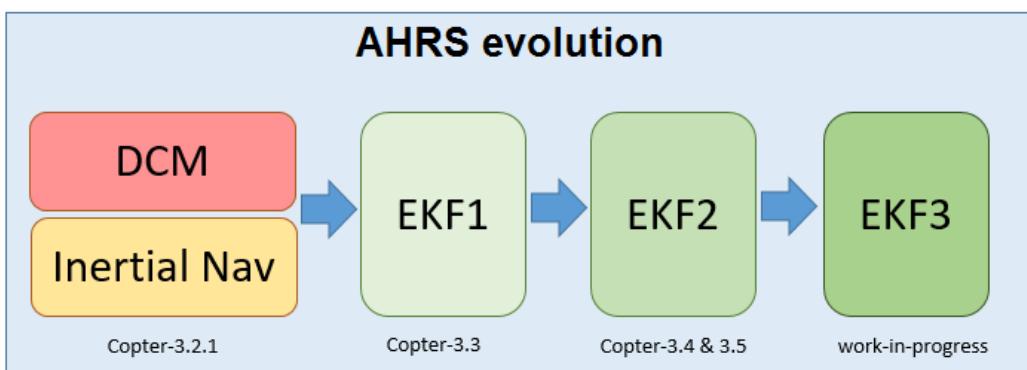
که به تازگی با نام ArduCopter یا APM Copter شناخته می‌شود یک نسخه از پلتفرم اتوپایلوت ArduPilot برای پرنده‌های بدون سرنشین چند موتوره مانند کوادکوپتر است. رویکرد نرم‌افزار رایگان ArduCopter شبیه به برنامه Paparazzi Project است که در آن کم‌هزینه بودن و در دسترس بودن امکان استفاده از آن در هواپیماهای کوچک از راه دور مانند هواپیماهای میکرو هوایی و پهپادهای مینیاتوری را فراهم می‌آورد.^[4]



تصویر ۴-۳ وسیله‌های بدون سرنشین مختلفی که کنترل آن‌ها به عهده Ardupilot است

4.1.2 فیلتر کالمن توسعه یافته

در کنترل پرواز ardupilot از سه فیلتر کالمن توسعه یافته EKF3 و EKF2، EKF1 است که شامل یک فیلتر کالمن مرکزی EKF1 است و EKF2 و EKF3 فیلتر کالمن های جانبی و کمکی سیستم به حساب می آید. در واقع کار اصلی فیلتر کالمن در پرندۀ استفاده از سنسورهای شتابسنج، ژیروسکوپ، GPS، قطب نما و فشارسنج برای تخمین موقعیت است. در واقع این فیلتر با ترکیب داده های سنسوری موجود خطای استفاده



تصویر 4-4 استفاده از سه فیلتر کالمن در ardupilot

از یک سنسور را (به طور مثال شتاب سنج) کاهش داده و خطای موقعیت یابی را به حداقل رسانده و دقیق‌تر کرده است. در ardupilot با استفاده از پارامترهایی همچون EKF_ACC_NOISE و EKF_GYRO_NOISE چیزی که می‌توان نیز شتاب سنج و ژیروسکوپ را به صورت یک عدد اسکالر تعریف کرد و اتوپایلوت این اعداد را در ماتریس های کوواریانس دخیل می کند و کاربر نیازی به تعریف این ماتریس ها ندارد. شکل 4-4 ورودی های فیلتر کالمن را نشان می دهد. [4]

4.1.3 سخت افزار (pixhawk معرفی)

سخت افزار قسمتی است که میکروکنترلر ، سنسور ها و پورت های مختلفی روی آن قرار دارد. در واقع کار اصلی سخت افزار ایجاد بسترهای ارتباط با موتورها و کنترل دور آنها است . سخت افزار سنسورها را به عنوان ورودی می گیرد و خروجی را به اسپیدکنترلرها اعمال می کند . برای اجرای کد ardupilot می توان از سخت افزارهای مختلفی استفاده کرد که از معروف ترین محصولات موجود در بازار می توان pixhawk و minipix را نام برد که در این پژوهه از minipix به دلیل مقرنون به صرفه بودن و عملکرد قابل قبول آن استفاده شده است.

[4]



تصویر 4-5 سخت افزار pixhawk ساخت شرکت radio link

تصویر 4-6 سخت افزار mini pix ساخت شرکت radio link

4.1.4 کنترل پرنده از راه دور و قابلیت هدایت خودکار(autonomous)

یکی از قابلیت های بسیار مهمی که اتوپایلوت (ardupilot) دارا می باشد کنترل پرنده از راه دور بدون دسته رادیویی و قابلیت هدایت خودکار آن است . در واقع می توان قبل از هر پرواز برای پرنده ماموریت مورد نظر را تعریف کرد و به هنگام اجرای ماموریت ، پرنده به صورت خودکار کارهای از قبل تعیین شده را انجام داده و می تواند به نقطه ای که از آن جا بلند شده برگردد و یا در هر نقطه دیگر بنشیند . پرنده از دستورات سرعت و موقعیتی که در قالب پروتکل MavLink فرستاده می شود پیروی می کند . در ادامه پروتکل MavLink بررسی می گردد .

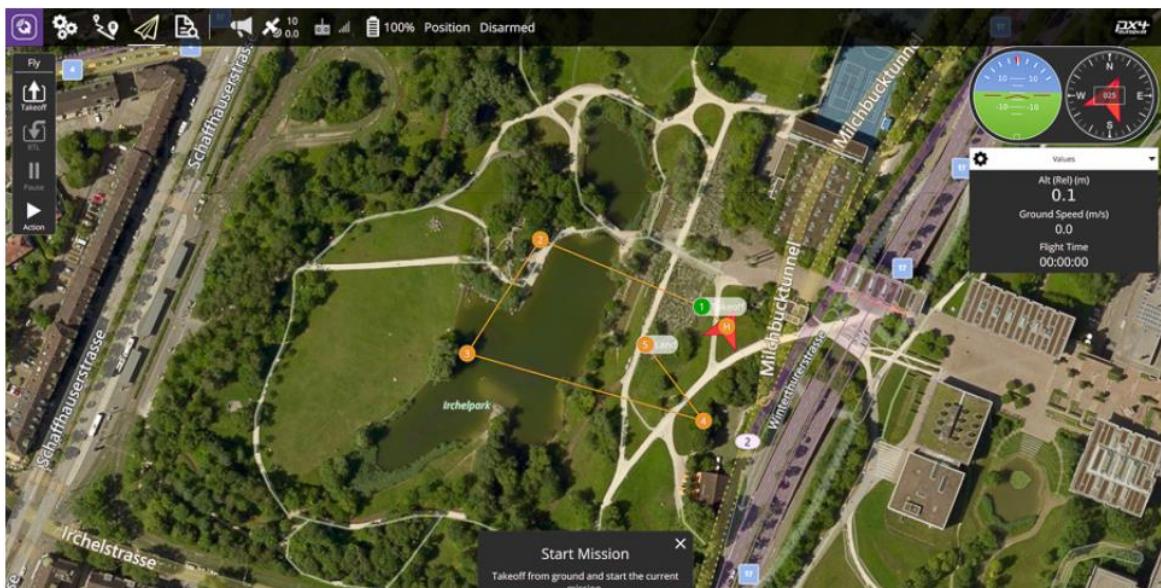
[4].

Mavlink 4.1.4.1 پروتکل

[5] Mavlink پروتکل استاندارد ارتباطی بین پرنده های بدون سرنشین و پنل های کنترل زمینی است . این دستورات در قالب ارتباط سریال برقرار می شود . در واقع می توان با استفاده از این ساختار ارتباطی به مانیتورینگ سنسورها ، موقعیت ، وضعیت سلامت پرنده و ... پرداخت . برای ارسال mavlink می توان از یک ماژول esp8266 به عنوان تلمتری برای پرنده استفاده کرد و دستورات را با آن از فوایل دور برای پرنده ارسال کرد . در این پروژه برای ارسال دستورات mavlink برای پرنده می توان از ماژول نرم افزاری dronekite [6] یا برای ارسال دستورات mavros برای پرنده کرد [7] .

4.1.4.2 نرم افزار کنترل زمینی Qgroundcontrol

برای مشاهده و تنظیم پارامتر های پرنده می توان از نرم افزار Qgroundcontrol استفاده کرد . در این نرم افزار می توان به صورت آنلاین موقعیت پرنده را روی نقشه مشاهده کرد و



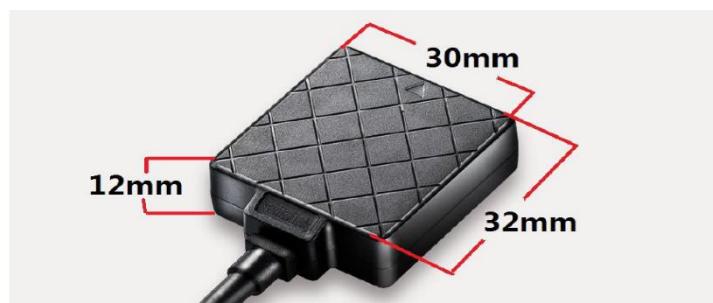
تصویر 4-7 محیط کلی نرم افزار Qground control

ماموریت های دلخواه را برای پرنده تعريف کرد . همچنین تمام پارامتر های اتوپایلوت توسط این نرم افزار قابل تنظیم است.

پایه کاری این نرم افزار بر اساس پروتکل mavlink می باشد . [8]

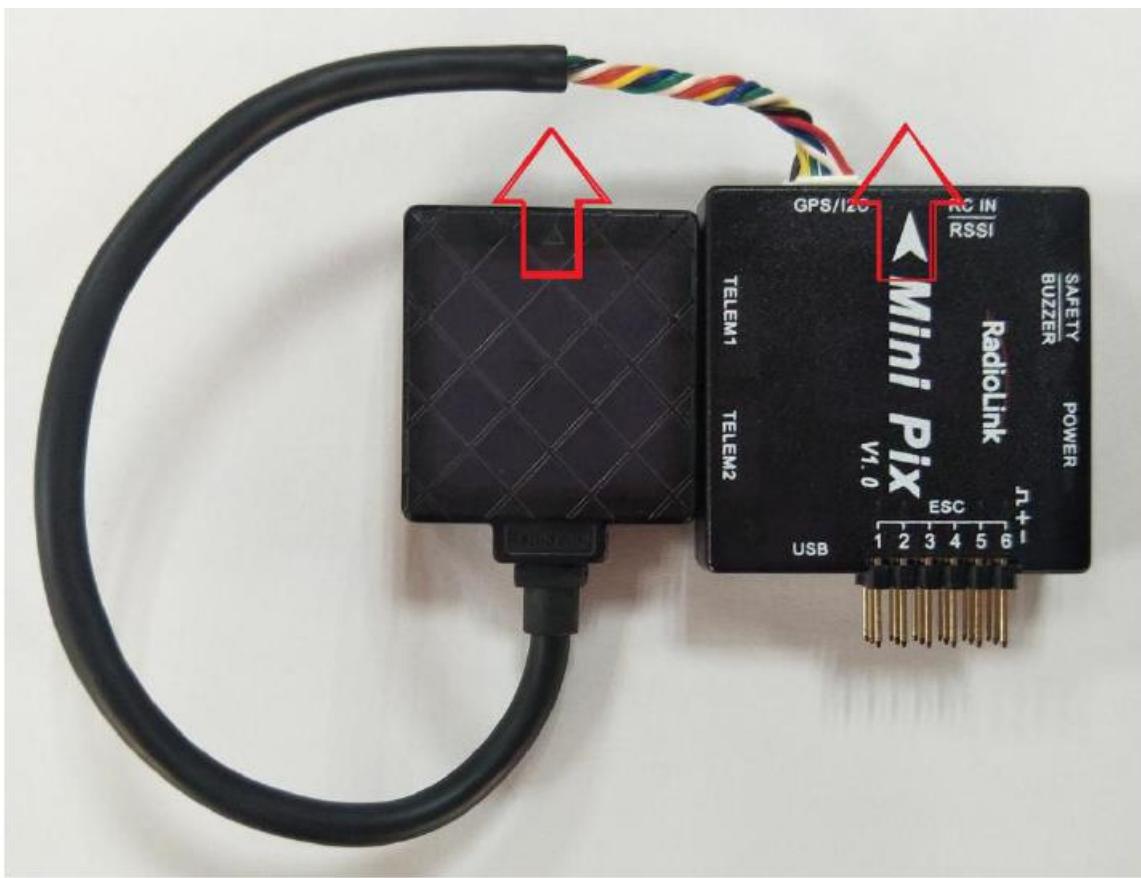
4.2 موقعیت یاب (GPS)

Gps یکی از اجزای بسیار مهم در ثابت نگه داشتن موقعیت پرنده است . داده های imu با ترکیب شده و دقت مسیر یابی بسیار بالا می رود . در این پروژه از gps ts100 استفاده



تصویر 4-8 ابعاد موقعیت یاب TS100

شده است . این gps با استفاده از قطب نمای داخلی آن می تواند در بهترین حالت به دقت 50 سانتی متر در موقعیت یابی برسد . [9]



تصویر 4-9 نحوه قرار گیری gps در کنار



تصویر 4-10 هنگامی که چراغ سبز رنگ gps چشمک می زند به معنی پیدا کردن موقعیت است

4.3 موتور براشلس

موتوری که در این پرنده استفاده می شود مدل tarot 2214-920KV است که می تواند حداقل تا وزن 2 کیلوگرم را بلند کند . این موتور می تواند با باتری لیتیوم پلیمر 3 سلول و 4 سلول کار کند . [10]



تصویر 11-4 موتور tarot 2214-920KV

ملخی که برای این موتور مناسب است ملخ 1045 است . ملخی با طول 10 و پهنای 45 اینچ



تصویر 4-12 ملخ 10 اینچی با جنس پلاستیک فشرده

4.3.1 اسپیدکنترلر

برای راه اندازی موتور ها از یک اسپیدکنترلر 10 آمپر استفاده شده است . در واقع کار اصلی تنظیم دور موتور ها با استفاده از موج pwm است . بدین صورت که موج pwm را به عنوان ورودی گرفته و با سه خروجی که به موتور می رود می تواند دور موتور را متناسب با ورودی تنظیم کند .



تصویر 4-13 اسپید کنترلر hobbywing با بیشترین جریان 10 آمپر

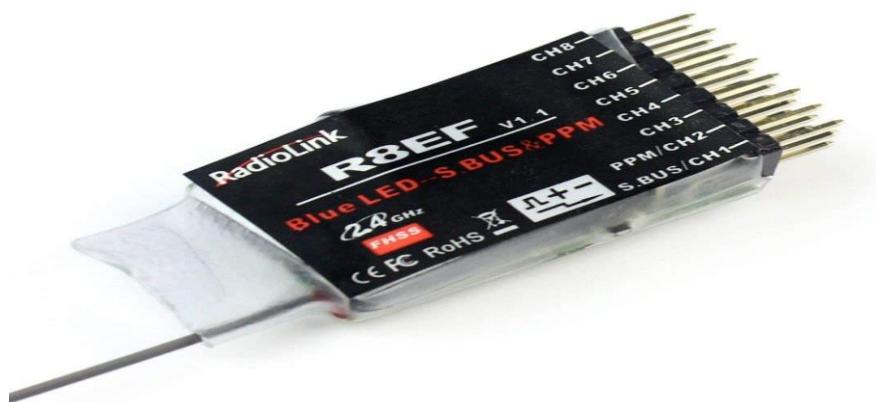
4.4 دسته رادیویی(RC)

دسته RC برای هدایت پرنده به صورت دستی و تغییر حالت های پروازی پرنده به کار می‌رود. برای این پرنده از رادیو کنترل T8FB استفاده شده است.



تصویر 4-14 رادیو کنترل 8 کanal T8FB با برد یک کیلومتر

این رادیوکنترل شامل یک گیرنده 8 کانال است که تقریباً 1 کیلومتر برد دارد و با هلی‌کوپترها، گلایدرها، هواپیماهای بال ثابت و مولتی‌روتورها سازگاری کامل دارد و همچنین

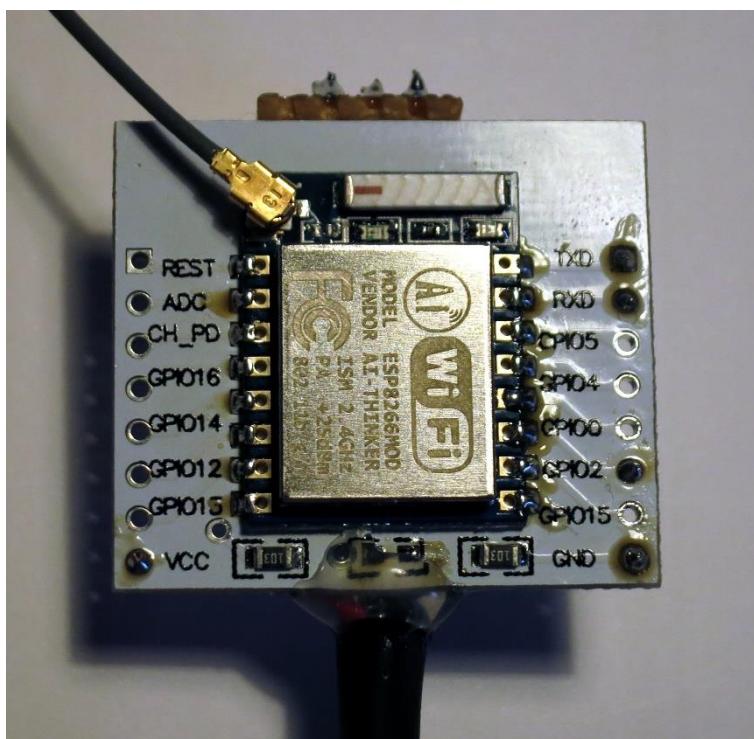


تصویر 4-15 گیرنده دسته رادیویی با خروجی ها کانال های 1 تا 8 ، ppm و sbus

قادر است به صورت همزمان، سیگنال خروجی PWM و S-BUS را تولید کنند. این رادیو کنترل دارای یک گیرنده نیز هست که به فلایت کنترلر متصل می شود . [11]

4.4.1 تلمتری

برای کنترل از راه دور پرنده توسط پنل زمینی نیاز به یک ارتباط wifi بین پرنده و پنل زمینی وجود دارد . تلمتری وسیله ای است که این کار را انجام می دهد . از یک مازول esp8266-07 جهت راه اندازی تلمتری می توان استفاده کرد . تلمتری بر روی بستر udp دیتا های خود را به پنل زمینی انتقال می دهد . [12]



تصویر 4-16 مازول esp8266-07 به همراه آنتن اکسترنال با برد 120 متر

4.5 باتری لیتیوم پلیمر

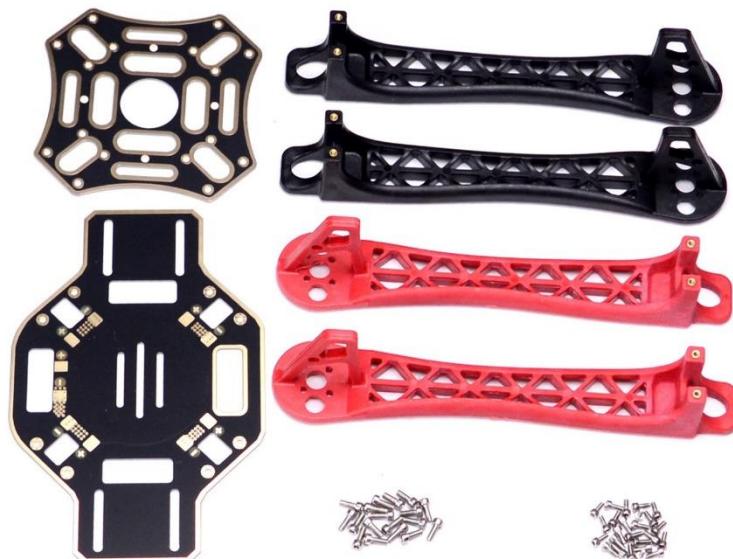
برای تغذیه موتور ها و فلایت کنترلر از یک باتری لیتیوم پلیمر 3300mAh استفاده شده است . این باتری مدت زمان پروازی حداقل 15 دقیقه را می دهد و زمان شارژ شدن آن حدود 40 دقیقه است.



تصویر 4-17 باتری لیتیوم پلیمر 3300mAh که مدت زمان پروازی 10 تا 15 دقیقه ای را دارد

F450 بدن 4.6

بدنه این پرنده مدل F450 از جنس پلاستیک فشرده با الیاف کربن است و تقریبا 200 گرم وزن دارد . ابعاد هر بازو آن 450 میلی متر است . صفحه زیرین این بدنه دارای pcb جهت پخش تغذیه در سراسر



تصویر 4-18 قطعات جدا شده بدنه قبل از اتصال

آن و اتصال اسپیدکنترلر ها به این صفحه می باشد همچنین این بدنه دارای پایه فرود نیز می باشد که به صورت جداگانه ای تهیه شده است. [13]



تصویر ۲۰-۴ پایه فرود سرهم شده



تصویر ۱۹-۴ پایه فرود ، قطعات جدا شده آن

4.7 ساخت کامل پرنده

در حال حاضر نوبت به ساخت کامل پرنده رسیده است. ساخت پرنده به صورت چند گام انجام گرفته که در زیر به شرح هر یک می پردازیم:

گام اول - بدن :

در گام نخست بدن بسته می شود . با توجه به پیج های موجود و صفحات بالا و پایین نحوه بستن بدن واضح است و نیازی به توضیح بیشتری ندارد . به این نکته توجه شود که باید جلوی پرنده توسط بازو های قرمز مشخص باشد . همانند تصویر زیر دو بازوی سیاه و را در یک طرف و دو بازوی قرمز را در یک طرف دیگر قرار داده می شوند.



تصویر 4-21 بدن سرهمنشده F450 ، پایه های خارجی فرود به آن متصل نشده است

گام دوم – نصب فلايت کنترلر به همراه مازول تغذيه

در اين مرحله بر روی بدنه ، فلايت کنترلر نصب می شود. جهت فلاش جلوی پرنده را مشخص می کند.



تصویر 4-22 نصب کنترلر و کلید امنیت روی بدنه

ماژول تغذيه به همراه گیرنده رادیوکنترل و تلمتری در صفحه زیرین نصب شده است . بجای اتصال اسپید کنترلر به بدنه ، آن را به خود ماژول تغذيه لحیم کرده و عملا از pcb بدنه استفاده ای نشده و هیچ لحیم کاری رو بدنه انجام نشده است .

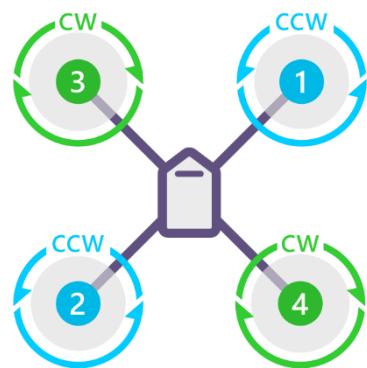
گام سوم – نصب موتور به همراه اسپید کنترلر

در این مرحله موتور های را به بازو ها پیچ کرده و با توجه به مهره روی آن ها جهت ساعتگرد یا پادساعتگرد بودن آن مشخص می شود . برای اینکه مهره ها از روی شفت ها باز نشوند دو موتور با مهره سیاه باید در جهت ساعتگرد و دو موتور دیگر با مهره سفید باید در جهت پادساعتگرد بچرخند و موتور های ساعتگرد روبروی هم روی یک قطر پرنده و پادساعتگرد هم



تصویر 4-24 موتور با مهره سیاه جهت چرخش ساعتگرد

تصویر 4-23 موتور با مهره سیاه جهت چرخش پادساعتگرد

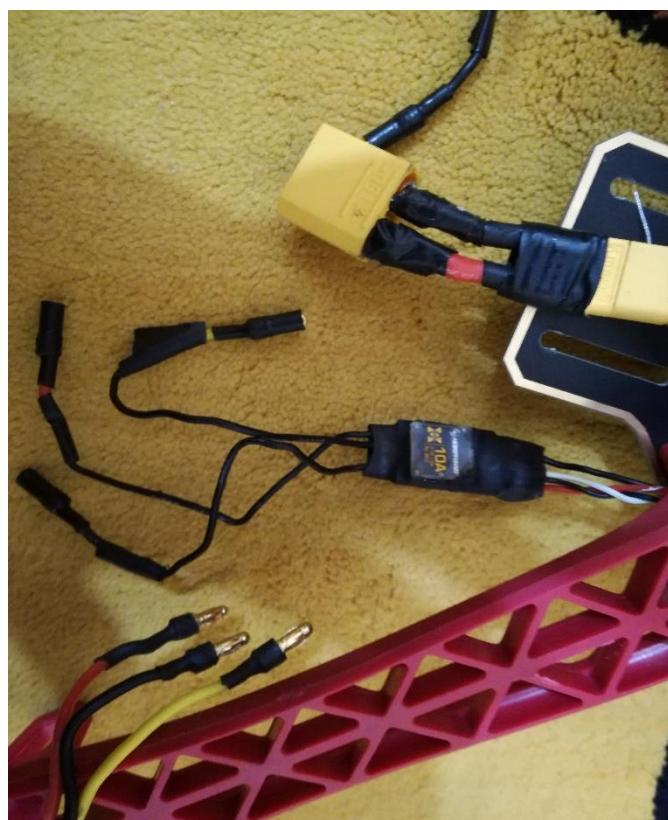


QUAD X

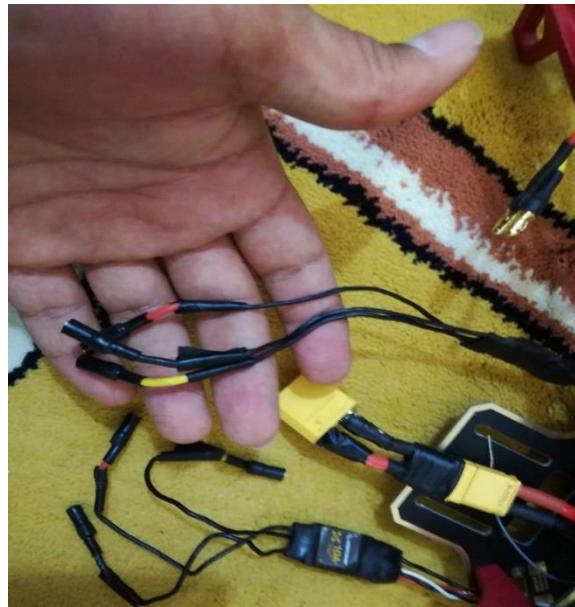
تصویر 4-25 جهت چرخش موتور ها

به همین شکل است . بعد از نصب موتور ها نوبت به اتصال اسپیدکنترلر ها می رسد . اسپیدکنترلر را باید طوری وصل کرد که جهت چرخش موتور ها مطابق شکل 4-25 باشد اگر

چنین نشد جای دو سیم را عوض کرده و جهت چرخش تغییر می یابد که در تصویر 4-26 و 4-27 قابل مشاهده است.



تصویر 4-26 اسپیدکنترلر و کانکتور های آن



تصویر 4-27 جا به جایی سیم های اسپیدکنترلر جهت تعویض چرخش موتور

گام چهارم - اتصال پایه فرود و تلمتری به بدن:

در این مرحله پایه فرود نصب شده و ابر های آن قرارداده شده است و برای برقراری ارتباط بی سیم با پرنده تلمتری به پرنده متصل می شود .

گام پنجم - نصب باتری :

در آخرین مرحله باتری 3300mAh را در قسمت زیرین پرنده با استفاده از بند هایی محکم می شود . نکته ای که در اتصال باتری حائز اهمیت است اطمینان از محکم شدن کامل باتری و عدم هرگونه لغزش در زیر پرنده می باشد زیرا اگر باتری در حین پرواز دچار لغزش شود ممکن است ارتباطش با پرنده قطع شده و صدمات زیادی را برای پرنده به همراه داشته باشد .

4.8 روش های شیلدینگ و گراندینگ برای جلوگیری از ورود نویز های خط انتقال

یکی از خطراتی که پرنده را تهدید خواهد کرد تشاسعت خط انتقال است . خط انتقال دارای دو نوع میدان است ، میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی . هنگامی که پرنده بیش از حد

مجاز به این خطوط نزدیک شود این دو میدان می توانند در سنسور ها اختلال ایجاد کنند و ممکن است پرنده تعادل خود را از دست داده و سقوط کند . یکی از راه های موجود برای کاهش تاثیر این دو میدان ، شیلدینگ و گراندینگ کامل اتوپایلوت minipix می باشد . تحقیقات به عمل آمده نشان می دهد که شیلد آلومینیوم می تواند بر میدان الکتریکی و شیلد آهنی می تواند بر میدان مغناطیسی غلبه کند و تاثیرات آن ها را به حداقل برساند در این پروژه برای جلوگیری از افزایش وزن پرنده تنها از شیلد آلومینیوم استفاده شده است . البته لازم به ذکر است که در هنگام پرواز همواره فاصله مجاز از خطوط انتقال مطابق جدول 1-1 رعایت می شود . با رعایت فاصله مطمئن و شیلد مناسب آلومینیوم می توان تا حد خوبی از خطرات نویز خطوط انتقال مصون ماند .



تصویر 4-29 شیلد آلومینیوم بر روی فلایت کنترلر mini pix



تصویر 4-28 شیلد آلومینیوم بر روی فلایت کنترلر mini pix

4.9 شبیه سازی

طراحی مبتنی بر مدل فرایندی برای طراحی و پیاده سازی سیستم های کنترل است که در آن همه مراحل طراحی، پیاده سازی، تست و ارزیابی سیستم کنترل با استفاده از یک مدل نرم افزاری انجام می شود. در سال های اخیر توسعه قدرت پردازش و میزان حافظه در سیستم های توکار (embedded) از یکسو و افزایش پیچیدگی سیستم های کنترل از سوی دیگر و همچنین نیاز به کاهش زمان رسیدن به محصول باعث شده است که روش طراحی مبتنی بر مدل توسط شرکت های بزرگ و در پروژه های حساس مورد استفاده قرار گیرد. برای نمونه می توان به سیستم کامپیوتر پرواز هوایی Airbus A380 و کامپیوتر پرواز هوایی-X Scramjet Lockheed Martin F35 (محصول مشترک NASA و BAE) اشاره کرد که در آن از روش تولید خودکار کد و نرم افزار MATLAB استفاده شده است. در زیر انواع شبیه سازی مورداستفاده در متدهای طراحی مبتنی بر مدل را بررسی می کنیم.

4.9.1 شبیه سازی مدل در حلقه (MIL)

تست مدل در حلقه اغلب به عنوان یک شبیه سازی رفتاری به حساب می آید. این تست معمولاً کلیت عملکرد کنترلگر را بازبینی نموده و در واقع الگوریتم اصلی کنترل را بررسی می نماید. در این نوع شبیه سازی مدلی از کنترلگر با مدلی از پلنت کار می کند که مدل کنترلگر معمولاً در نرم افزار سیمیولینک اجرا می شود و مستقیماً به یک بلوک از مدل فیزیکی سیستم که در همان دیاگرام سیمیولینک قرار دارد متصل می باشد. تصحیح طراحی در این مرحله بسیار سریع اتفاق می افتد و به صورت real-time یا non real-time می تواند اجرا شود.

4.9.2 شبیه سازی نرم افزار در حلقه (SIL)

شبیه سازی نرم افزار در حلقه ادغام کد منبع کامپایل شده را در یک شبیه سازی مدل ریاضی نشان می دهد که به مهندسان یک محیط شبیه سازی عملی، مجازی برای توسعه و تست استراتژی های کنترل دقیق برای سیستم های بزرگ و پیچیده فراهم می کند. با استفاده از SIL، مهندسان می توانند از یک کامپیوتر شخصی برای آزمایش مستقیم و مکرر و اصلاح کد

منبع خود استفاده کنند. SIL آزمایش نرمافزار قبل از شروع فاز نمونه اولیه سختافزار را ممکن می‌سازد که به طور قابل توجهی چرخه ساخت را تسريع می‌کند.

این کار در واقع تست کدنویسی می‌باشد. اجرای کد نرمافزاری جایگزین مدل کنترلگر در شبیه‌سازی می‌شود و در آن مدل کنترلگر کمی واقعی‌تر از شبیه‌سازی MIL است. طراح احساس می‌کند که دیگر در حال اجرای مدل نیست و تسلط بیشتری نسبت به اتفاقات پیش روی وسیله طراحی‌شده خواهد داشت. در این نوع شبیه‌سازی طراح مدل خود را در زبانی مانند C++ یا C کد کرده و سپس این مدل کد شده را در شبیه‌سازی خود قرار خواهد داد. زمانی که تعداد و پیچیدگی تعاملات اجزا بیشتر است، SIL تشخیص زده‌نگام نقایص یا اشکالات سطح سیستم را ممکن می‌سازد و به طور قابل توجهی هزینه‌های عیب‌یابی مرحله بعدی را کاهش می‌دهد.

4.9.3 شبیه‌سازی پردازشگر در حلقه (PIL)

در این نوع شبیه‌سازی کد تولیدشده از مرحله SIL را بر روی یک میکروپروسسور جایگزین بارگذاری می‌کنند؛ در واقع مدل را در قالب یک کد بر روی یک پردازشگر و یا در قالب یک کد HDL⁵ برای یک برد⁶ FPGA می‌نمایند. این تست به منظور پیداکردن مشکلات احتمالی اجرا در محیط Embedded است. به طور مثال در این مرحله متوجه می‌شویم که آیا حلقه کنترلی ما با زمان اجرایی در دسترس پردازنده جاسازی‌شده متناسب هست یا خیر؟ در این شبیه‌سازی سرعت تصحیح روند طراحی به صورت قابل توجهی در این مرحله کاهش می‌یابد، زیرا در این مرحله، هم می‌بایست کد موجود را تغییر داد و هم این کد تغییر یافته را بر روی میکروپروسسور بارگذاری نمود.

4.9.4 شبیه‌سازی سختافزار در حلقه (HIL)

هنگامی که سختافزار کنترلگر نهایی ساخته شد، می‌توان تست سختافزار در حلقه را آغاز نمود. در آن سیستم کنترلی به صورت کاملاً سختافزاری، در حلقه قرار داده شده است. ایده

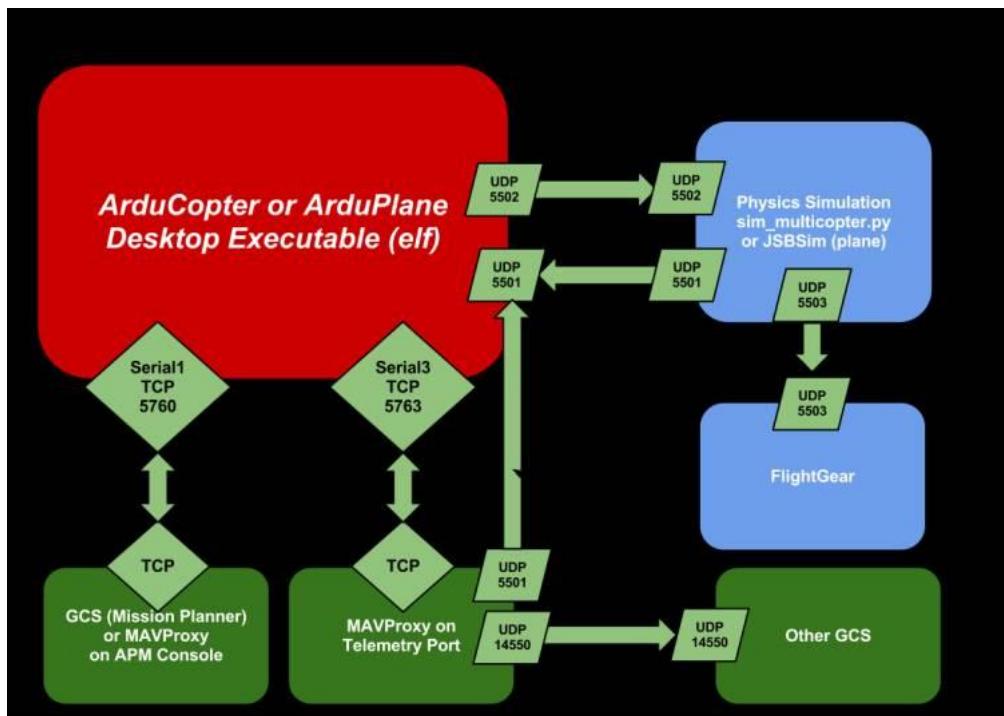
Hardware Description Language⁵
field-programmable gate array⁶

اصلی شبیه‌سازی سخت‌افزار در حلقه ، به قراردادن یک یا چند زیرسیستم از یک سامانه به صورت سخت‌افزار واقعی در حلقه‌ی شبیه‌سازی مربوط می‌شود. مزیت عمدۀ این روش این است که بدون نیاز به ساخت تمام اجزای سیستم، می‌توان سیستم کنترل را در شرایطی تا حد امکان واقعی مورد آزمایش قرار داد و چون به جای برخی از زیرسیستم‌ها، سخت‌افزار واقعی قرار گرفته است، نتایج شبیه‌سازی به عملکرد واقعی سیستم نزدیکتر خواهد بود و درنتیجه می‌توان از ریسک و هزینه‌ی آزمایش‌هایی که ممکن است ناموفق باشند، جلوگیری کرد.

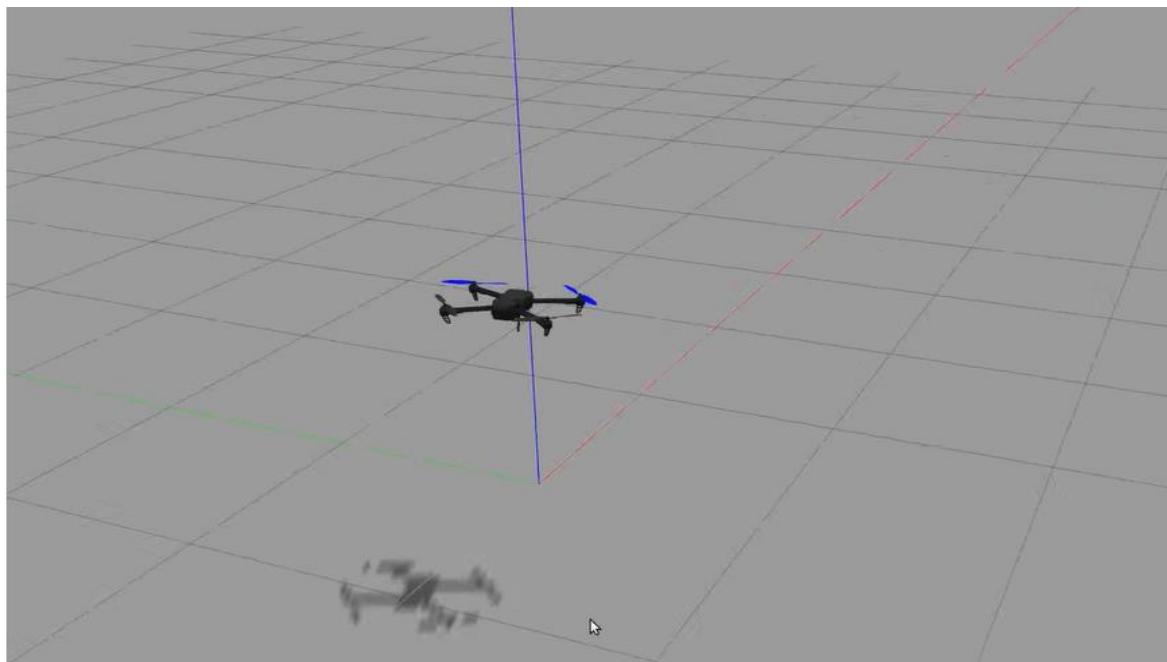
4.9.5 استفاده از نرم افزار در حلقه (SIL) به کمک آردوپایلوت و Gazebo برای شبیه‌ساز

پرواز

نرم افزار در حلقه پکیج آردوپایلوت پکیجی است که در شبیه‌ساز Gazebo قابل انجام است. قبل از انجام پرواز ابتدا ماموریت تعریف شده برای پرنده شبیه‌سازی و از صحت عملکرد آن اطمینان حاصل می‌گردد و بعد از آن تست‌ها را در محیط واقعی صورت می‌پذیرد. در واقع با این کار از اشتباهاتی که ممکن است در محیط واقعی پیش بیاید تا حد خوبی جلوگیری می‌شود . در شکل زیر معماری کلی نرم افزار در حلقه آردوپایلوت به همراه پورت‌های ارتباطی آن نشان داده شده است. [14].



تصویر 4-30 معماری سخت افزار در حلقه ardupilot



[23] تصویر 4-31 شبیه سازی پرنده در حال تیکاف در محیط gazebo

4.10 بررسی تست های پروازی در فضای باز

تا به اینجا شبیه سازی در محیط شبیه ساز Gazebo انجام می‌گرفت. در این بخش تست در محیط واقعی انجام می‌پذیرد. برای تست عملی فضای آزاد زمین فوتبال را در نظر گرفته شده است. تا خطرات برخورد ناگهانی پرندۀ با موانع بیرونی را به حداقل برسد.

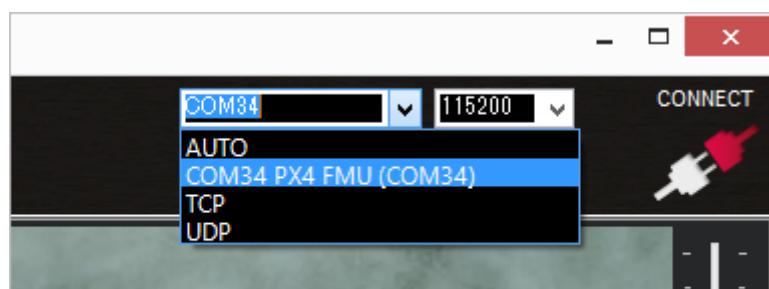
در این قسمت به نصب اتوپایلوت روی پرندۀ ، کالیبراسیون سنسور ها ، تعیین حالت های پروازی و به تنظیم ضرایب pid محور های پرندۀ (roll,pitch,yaw) پرداخته می‌شود و در ادامه بعد از کالیبراسیون سنسور و تنظیم ضرایب pid ، پایداری پرندۀ را در حین پرواز بررسی می‌شود و تست حالت ارتفاع ، موقعیت و ماموریت لوزی انجام می‌گردد.

4.10.1 انجام تنظیمات اولیه شامل نصب اتوپایلوت ، کالیبراسیون سنسور ها و تعیین حالت های پروازی

اولین قدم نصب فلایت کنترلر ardupilot روی فلایت کنترلر می‌باشد. برای این کار ابتدا نرم افزار Mission planner را نصب کرده و با اتصال فلایت کنترلر mini pix به کامپیوتر

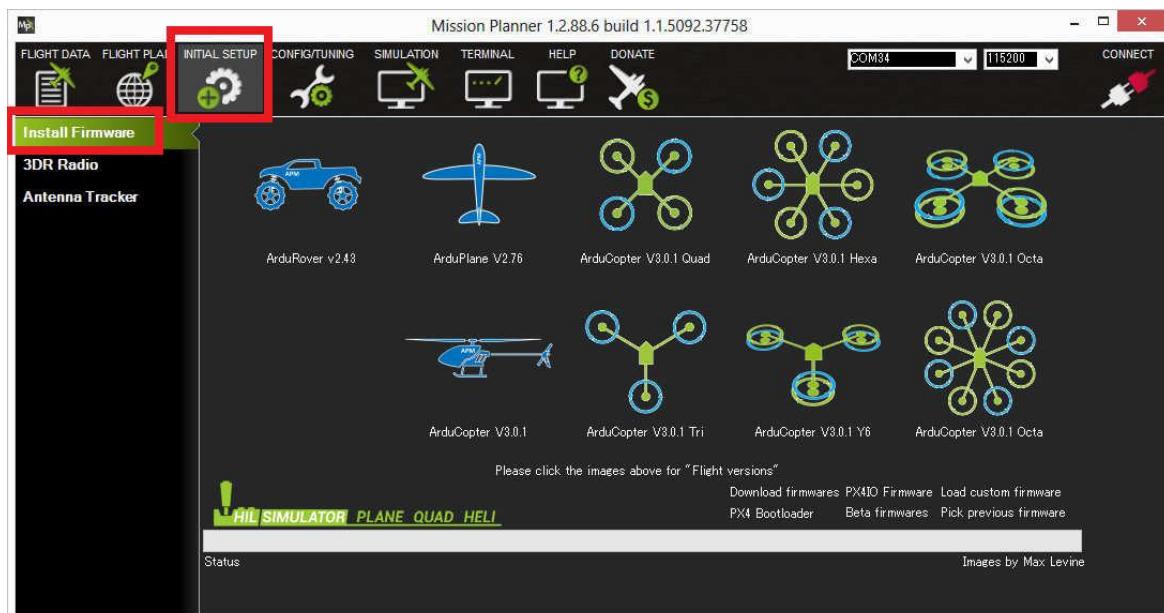


تصویر 4-32 محل اتصال کابل micro usb با رنگ زرد مشخص شده است



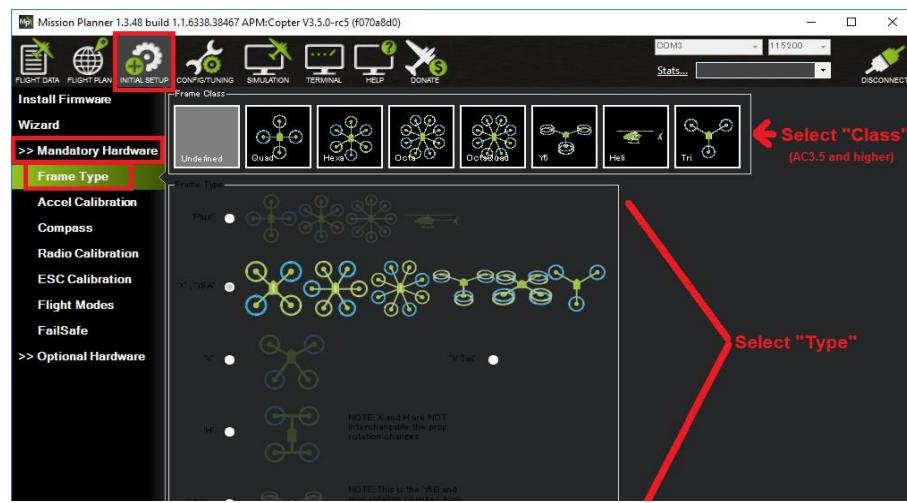
تصویر 4-33 نحوه مشخص کردن پورت در mission planner

عملیات شناسایی برد آغاز می گردد. در اینجا باشد به صورت خودکار mini pix mission planner توسط شناسایی شود، اما اگر این شناسایی انجام نشد می توان از قسمت COM PORT در نقطه بالای نرم افزار پورت را مشخص کرد. همانند تصویر زیر در قسمت Initial Setup>Install Firmware با توجه به وسیله مورد نظر یکی از فریم ویرها را انتخاب می گردد که در اینجا فریم ویر مخصوص به کوادکوپتر را انتخاب می شود.



تصویر ۳-۴ نرم افزار mission planner قسمت نصب فریم ویر ardupilot

بعد از اتمام نصب اتوپایلوت با صدای بوق بازار نشان دهنده این است که عملیات نصب با موفقیت انجام گرفته است . در مرحله بعد به قسمت Mandatory Hardware رفته و بعد از انتخاب فریم مربوطه کالیبراسیون دسته رادیویی انجام می‌گیرد . برای کالیبراسیون دسته رادیویی مربوطه کالیبراسیون دسته رادیویی انجام می‌گیرد . برای کالیبراسیون دسته رادیویی ابتدا روی این مد رفته و همه کانال های دسته را به طور متناسب روی بیشترین و



تصویر 4-35 مرحله تعیین بدنه در Mission planner

کمترین مقدارشان بردہ می شوند .

در گام بعد برای کالیبراسیون شتاب ابتدا در این مد رفته و همچون تصویر زیر پرنده را در چند جهت مختلف نگه داشته می شود .



تصویر 4-36 کالیبراسیون شتاب و جهت های قرارگیری پرنده

برای کالیبراسیون سنسور ژیروسکوپ نیز همانند شتاب سنج پرنده را در جهات مختلفی که در شکل بالا نشان داده شده است قرار داده با این تفاوت که در همان جهت به دور محور پرنده چرخانده می‌شود.

برای شروع کالیبراسیون اسپیدکنترلرها ابتدا تمام ملخ‌ها را از پرنده جدا کرده و تراتل را روی بیشترین مقدار قرار می‌گیرد.



تصویر 4-38 جداسازی ملخ‌ها از موتور برای کالیبره کردن اسپیدکنترلر



**Turn transmitter on.
Set throttle to maximum.**

تصویر 4-39 روشن کردن دسته و قرار دادن تراتل روی بیشترین مقدار

در همین حالت اتصال باتری می‌بایست قطع و وصل شود . بعد از صدای بازگشتن ، تراکتل را روی کمترین مقدار خود قرار می‌گیرد.

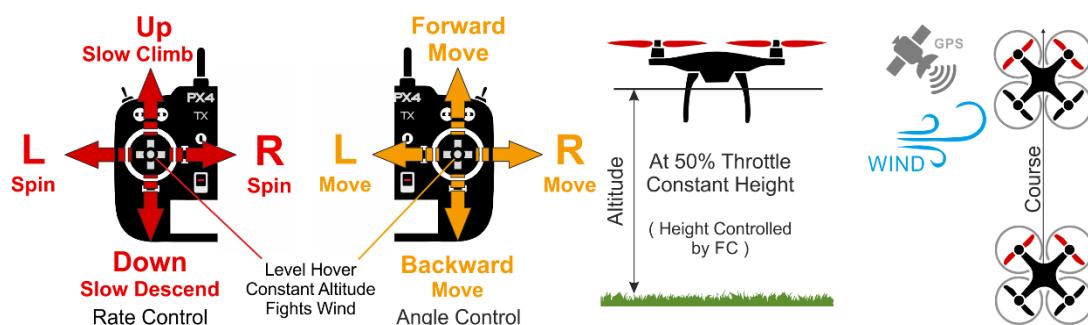
برای سنسور فشار بدین صورت عمل کرده که با اجرای این کالیبراسیون آفست های ارتفاع گرفته می‌شود و آن نقطه از نظر ارتفاع صفر می‌گردد .

4.10.2 مد های پروازی

بعد از انجام تمام مراحل ذکر شده حال نوبت به انتخاب حالت های پروازی می‌رسد . یکی از مزیت های آردوبایلوت که در بخش های قبل به آن اشاره شد حالت های پروازی متنوع است . در این پژوهش از حالت های پروازی متنوعی استفاده شده است که در ادامه به توضیح آن ها پرداخته می‌شود .

(AltHold , Loiter)Position 4.10.2.1

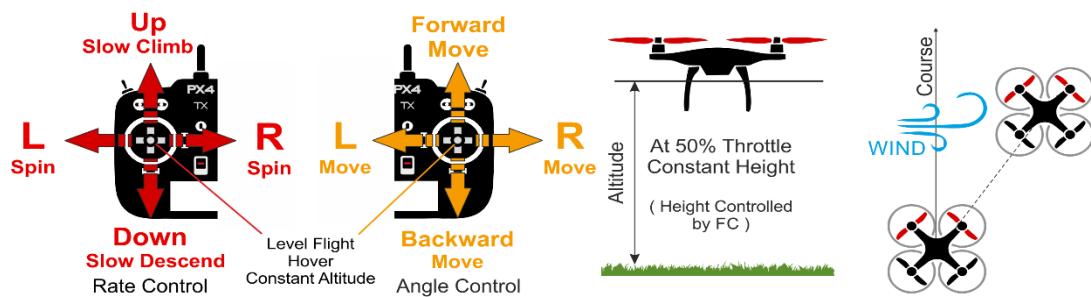
در این مدل کاملاً از دستورات جویستیک پیروی می‌کند و به محض اینکه RPT را همه در مرکز قرار دهیم پرنده در سر جای خود شناور می‌ماند و ارتفاع خود را حفظ می‌کند و در برابر وزش باد نیز مقاوم بوده و سعی می‌کند موقعیت فعلی خود را حفظ کند.



تصویر 40-4 : نمایی از مدل پرواز Position

Altitude مد 4.10.2.2

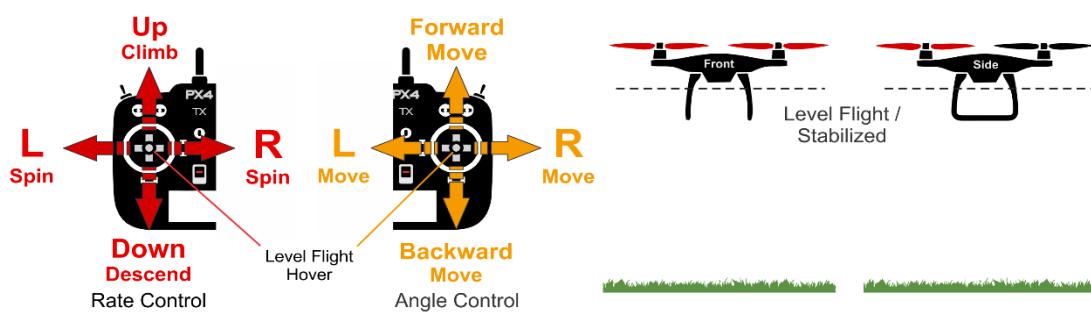
در این مد پرنده با دادن تراتل 50 درصد ارتفاع خود را حفظ می‌کند و اگر مقداری بیشتر تراتل داده شود تا زمانی که دوباره به 50 درصد تراتل بازگردانده شود پرنده اوچ می‌گیرد.



شکل 41-4: نمایی از مد پرواز Altitude

Manual/ Stabilized مد 4.10.2.3

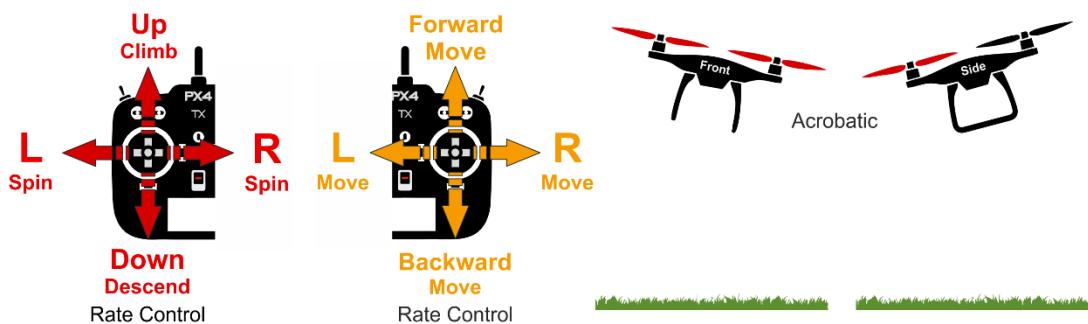
در این مد پرنده فقط سعی می‌کند سطح خود را صاف نگه دارد و ارتفاع و حرکت آن کاملاً وابسته به جویستیک و جهت باد است به طوری که باد می‌تواند ارتفاع آن را تغییر دهد.



شکل 42-4: نمایی از مد پرواز Stabilized

Rattitude/Acro مد 4.10.2.4

این مد بسیار پر ریسک و خطرناک است. بدین صورت که هر زاویه‌ای که به پرنده توسط جویستیک وارد شود، پرنده به حالت اولیه خود بر نمی‌گردد و همان زاویه را حفظ می‌کند. این مد بیشتر برای انجام مسابقات و حرکات آکروباتیک استفاده می‌شود.



شکل 4-41: نمایی از مد پرواز Acro

Takeoff مد 4.10.2.5

در این مد پرنده با سرعت مشخص شده و تا ارتفاع معینی به صورت خودکار شروع به تیکاف می‌کند.

Land مد 4.10.2.6

در این مد پرنده با سرعت تعیین شده عملیات فرود را به طور خودکار انجام می‌دهد.

Hold مد 4.10.2.7

در این مد پرنده هر جا که باشد بر اساس موقعیت GPS در هوا شناور می‌ماند و دیگر کار نمی‌کند تا زمانی که مد آن تغییر کند.

RTL مد 4.10.2.8

در این مد پرنده هر جا که باشد ابتدا تا ارتفاع معینی بالا رفته و بعد به محل اولیه پرواز (Home) بازمی‌گردد و فرود می‌آید.

Guided مد 4.10.2.9

پرنده به مأموریتی که از قبل در فلاйт کنترلر برنامه ریزی شده می‌پردازد و آن را مرحله به مرحله اجرا می‌کند.

Follow Me مد 4.10.2.10

در صورت داشتن تله‌متري این مد قابل استفاده است. بدین صورت که اگر نرمافزار qground را روی گوشی یا تبلت خود نصب کنید و با تله‌متري به pixhawk وصل شوید، بعد از اینکه تیکاف انجام شد پرنده به دنبال موقعیت gps گوشی شما می‌آید و هر جا که حرکت کنید بالای سرتان به دنبالتان راه می‌افتد.

Offboard مد 4.10.2.11

با استفاده از این مود وسیله نقلیه از یک موقعیت، سرعت یا نقطه ارائه شده از طریق MAVLink پیروی می‌کند. این دستورات اغلب از طریق یک مینی کامپیوتر جاسازی شده که از طریق کابل سریال یا wifi متصل است ارسال می‌شود. در سیستم‌های خودران از این مود جهت کنترل پرنده استفاده می‌شود. [15]

4.10.3 تنظیم ضرایب PID برای محور های پرنده (PID Tuning)

یکی از کار های بسیار مهمی که قبل از اولین پرواز باید انجام شود تنظیم ضرایب کنترلی PID برای هر سه محور Roll , Pitch و Yaw است . در هر محور با توجه به تصویر ۱-۴ دو حلقه کنترلی سرعت و موقعیت وجود دارد . تنظیم ضرایب حلقه سرعت مهم تر از حلقه موقعیت است زیرا حلقه سرعت لایه درونی کنترل را تشکیل داده و تنظیم مناسب ضرایب آن تاثیر بسیار زیادی در پایداری پرنده دارد . برای تنظیم ضرایب به صورت دستی باید نکات چند نکته را مد نظر داشت :

برای تنظیم ضرایب حلقه سرعت باید مقادیر P,I و D و خصوصیت هر کدام توجه داشت که در زیر توضیحات اشاره شده است .

ضریب P :

- اگر مقدار این ضریب زیاد باشد پرنده با فرکانس بالا در محور مربوطه شروع به نوسان می کند .

- اگر مقدار این ضریب کم باشد سرعت واکنش پرنده نسبت به دستورات کم می شود و کند عمل می کند و بعضا اگر خیلی کم باشد نمی تواند زاویه خود را در جهت محور های مختلف ثابت نگه دارد و عملا پرنده ناپایدار می شود .

ضریب D :

- اگر مقدار این ضریب زیاد باشد می تواند نویز ها را تقویت کرده و بسیار به موتور فشار می آورد و اصطلاحا پیچ خورده‌گی در موتور به وجود می آید و موجب داغ شدن موتور ها می گردد .

- اگر مقدار این ضریب خیلی کم باشد عملا در پاسخ دستورت مقدار قابل ملاحظه ای مشاهده می گردد overshoot



تصویر ۴۴-۴ تنظیم ضرایب PID برای محور های مختلف در Mission planner

: ضریب I

- اگر مقدار این ضریب زیاد باشد پرنده نوسان های فرکانس پایینی از خود نشان می دهد
- اگر مقدار این ضریب بسیار کم باشد خطای حالت ماندگاری رو پاسخ دستورات مشاهده می شود و عملات تاثیرش را روی حالت acro قابل مشاهده است (مثالاً زمانی که دستور زاویه 45 درجه به پرنده داده می شود پرنده در زاویه دیگری برای مثال 35 درجه می رود)

تنظیم ضرایب حلقه موقعیت بعد از تنظیم ضرایب حلقه سرعت به آسانی می توان انجام داد و ضرایب به همان صورت قبلی که توضیح داده شد تنظیم می شوند . یکی از ویژگی های بسیار خوب ardupilot قابلیت AutoTune آن است که با ورودی های پله متفاوت خروجی ها را مشاهده کرده و خود به صورت خودکار ضرایب PID را برای هر سه محور تنظیم می کند . چون برای هر محور حدود 10 دقیقه عملیات Tunning طول می کشد تصمیم بر آن شد که فقط محور Roll را تنظیم شود و به دلیل تقارن پرنده همان ضرایب را روی محور Pitch قرار



تصویر 4-45 نمونه ای از ورودی پله به پرنده و خروجی آن . نمودار سبز ورودی پله و نمودار قرمز خروجی پرنده است گیرد . محور Yaw نیز به صورت جداگانه تنظیم می شود .

در تصویر زیر مقدار ضرایب تنظیم شده برای پرنده در هر سه محور آورده شده است .

تصویر ضرایب از محیط Qground Control

یکی از ضرایبی که تنظیم آن در بعضی موارد اهمیت می باید ضریب تنظیم ارتفاع است . اگر این ضریب درست تنظیم نشود پرنده در حالت پروازی Altitude و تمام حالت هایی که کنترل ارتفاع دارند به طور ناگهانی افزایش یا کاهش ارتفاع می دهد و عملاً به سختی می توان



تصویر 4-46 تنظیم ضریب تراول در mission planner

ارتفاع را ثابت نگه داشت . این ضریب در واقع ضریب PID برای تراکتل است که در شکل زیر مشخص شده است . [16]

4.10.4 تست حالت پرواز ارتفاع (AltHold) ، موقعیت (Position) و برسی میزان پایداری

پرنده

بعد از کالیبراسیون سنسور ها و اتمام عملیات تیونینگ لازم است حالت های پروازی تست شود . در این بخش میزان پایداری پرنده در حین پرواز سنجیده می شود. بعد از اتصال ارتباط تلمتری اتصال نرم افزار QgroundControl با فلایت کنترلر ardupilot برقرار می گردد . در این نرم افزار ابتدا حالت های پروازی Land ، Altitude ، Position و کلید توقف اضطراری موتور ها روی کانال های دسته رادیویی قرار داده می شود . بعد از فشرده شدن کلید امنیتی پرنده آماده پرواز است . حالت اولیه پرواز را روی AltHold تنظیم شده است . ابتدا موتور ها با دستور مربوطه روشن شده و با بالا بردن تراکتل پرنده از سطح زمین فاصله گرفته و اصطلاحا تیکاف انجام می گیرد . بعد از پایداری نسبی پرنده در حین پرواز حالت پرواز با تغییر کانال دسته رادیویی پرنده روی حالت Position قرار داده می شود . مشاهده می گردد پرنده در این دو حالت عملکرد بسیار خوبی را از خود نشان داده است و موقعیت خود را در حیث پرواز به خوبی حفظ می کند .



تصویر 47-4 پرواز پرنده در حالت AltHold



تصویر 48-4 پرواز پرنده در حالت Postion

برای نشاندن پرنده از حالت Land استفاده می‌شود . در این حالت پرنده با سرعت بسیار کمی سعی در کاهش ارتفاع دارد و فرود می‌آید .

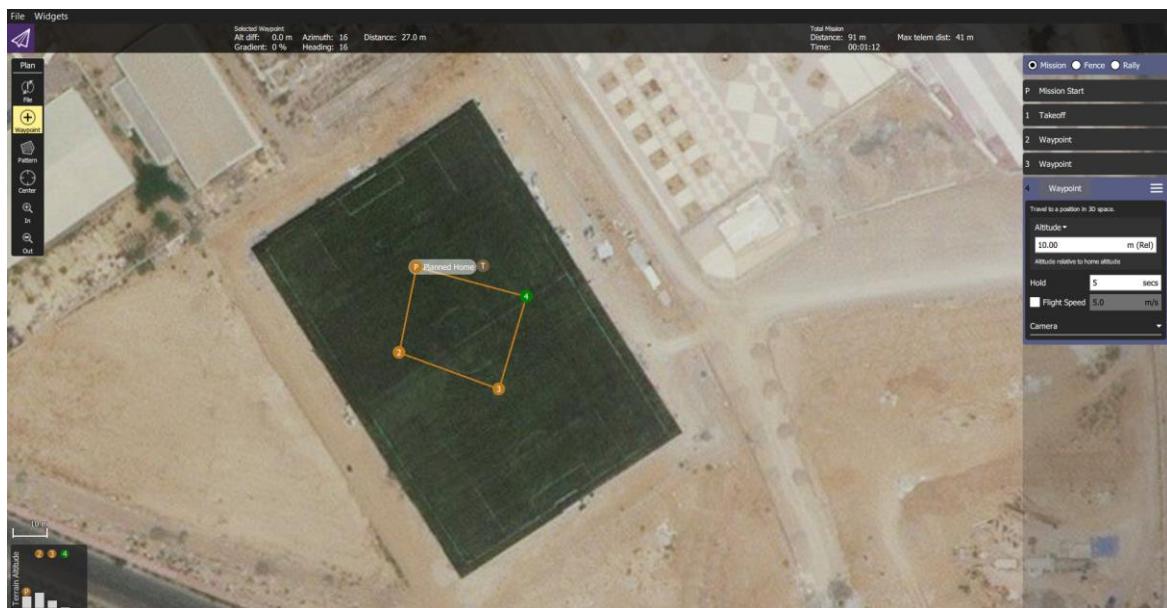


تصویر 4-49 فرود پرنده با حالت Land

4.10.5 تعریف یک ماموریت و بررسی نتایج آن (گردش به شکل لوزی)

در این بخش حالت هدایت خودکار پرنده بررسی می‌گردد . ابتدا در نرم افزار QgroundControl ماموریت مورد نظر که به شکل یک لوزی است برای پرنده تعریف می‌شود .

شود . بعد از قرار گرفتن پرنده در موقعیت مورد نظر ماموریت با استفاده از دسته رادیویی شروع می گردد . همان طور که مشاهده می شود پرنده برای ادامه کار خود نیازی به دسته رادیویی ندارد و به حالت هدایت خودکار در می آید و ماموریت را به اتمام می رساند .



شکل 4-50 مشخص کردن یک ماموریت به شکل لوزی برای پرنده با استفاده از نرم افزار QgroundControl

5 فصل پنجم

بینایی

5.1 مقدمه ای بر پردازش تصویر

در فصل های گذشته به مفاهیم مربوط به خطوط انتقال ، مقره ها و روش ساخت کوادکوپتر پرداخته شد. در این پژوهه هدف اصلی از ساخت کوادکوپتر تصویربرداری از خطوط انتقال به ویژه مقره ها و پردازش تصاویر است . برای این کار نیاز است به مفاهیمی از هوش مصنوعی ، پردازش تصویر ، بررسی ویژگی های مقره های سالم و معیوب ، روند تهیه دیتاست ، معرفی شبکه مناسب جهت آموزش و معرفی محیط google colab پرداخته شود و بعد از اتمام این مراحل ، به مطالب مربوط به دوربین ، شیوه نصب آن روی پرنده ، حذف لرزش دوربین در حین پرواز و روش انتقال تصویر به پنل زمینی در حین پرواز پرنده پرداخته خواهد شد .

5.2 هوش مصنوعی و پردازش تصویر

هوش مصنوعی آن چیزی است که باعث هوشمند شدن ابزار مختلف می شود و این هوشمند شدن از طریق یادگیری و آموزش اتفاق می افتد. یکی از این روش های یادگیری استفاده از شبکه های عصبی عمیق می باشد. با استفاده از شبکه عصبی می توان به هوش مصنوعی کمک کرد تا کار ها و یا مفاهیم و یا مفاهیم پیچیده را بهتر درک کند و بتواند شبیه انسان تجزیه و تحلیل کند. پس تفاوت شبکه عصبی و هوش مصنوعی در آن چه گفته شد می باشد و می توان گفت که شبکه عصبی در واقع زیر مجموعه هوش مصنوعی است.

پردازش تصویر یا image processing به عنوان زیر مجموعه ای از پردازش سیگنال دیجیتال می باشد که دارای کاربرد ها و مزایای مختلفی در حوزه های متفاوت است. پردازش دیجیتال در حقیقت همان پردازش تصویر دیجیتالی است که به کمک دانش کامپیوتر، برنامه نویسی و هوش مصنوعی قابل اجرا است. پردازش تصویر یکی از کاربرد ها و زیر مجموعه های هوش مصنوعی است که همان طور که از نام آن پیداست بر روی تصاویر دیجیتال پردازش انجام می دهد و بر اساس آموزش های از پیش تعیین شده خروجی معینی را به همراه اطلاعات به خصوصی به نمایش می گذارد.

پردازش تصویر به طور عمدی به دو بخش تقسیم می شود :

1- بهبود تصاویر : هدف از بهبود کیفیت تصویر ، تبدیل تصویر می باشد به طوری که برای یک کاربرد خاص، تصویر حاصل بهتر از تصویر اولیه گردد.

2- بینایی ماشین: منظور این است که کامپیوتر ها به کمک دوربین ها محیط اطراف را ببینند ، درک کنند و تصمیم گیری کنند. [17]

5.2.1 کاربرد های پردازش تصویر

کنترل ترافیک : سنجش سرعت خودرو های در حال حرکت و خواندن پلاک آن ها

هواشناسی : پیش بینی آب و هوا یا پیش بینی سرعت طوفان ها با دقت بسیار بالا

صنعت : امروزه کمتر کار خانه ای را میتوان یافت که از دانش و فن اوری پردازش تصویر بی بهره باشد ؛ مثلا در کارخانجات تولید کیک با استفاده از فن آوری پردازش تصویر کیک های پخته را از کیک هایی که نیاز به پخت بیشتر دارند تشخیص داده میشود ، یا در محیط هایی که مشاهده و اندازه گیری محصول بدون چشم مسلط امکان پذیر نیست می توان از فن آوری پردازش تصویر استفاده کرد.

کشاورزی : در مواردی همچون تقسیم اراضی یا صدمات احتمالی وارد به محیط زیست را می توان با مقایسه تصاویر دریافتی برآورد کرد .

شهرسازی : با مقایسه عکس های مختلف از سال های مختلف در یک شهر میزان تغییرات و پیشرفت آن را مشاهده کرد و بدین بوسیله از ساخت و ساز های غیر قانونی جلوگیری می شود .

علوم نظامی : در مواردی همچون پرتاب موشک می توان با استفاده از پردازش تصویر نقطه دقیق اصابت موشک را تعیین کرد .

5.2.2 فاکتور های مهم در پردازش تصویر

اساس کار الگوریتم های شبکه عصبی در پردازش تصویر ، به کیفیت مجموعه داده باز می گردد و بر کیفیت تصاویر مورد استفاده بر آموزش و آزمایش مدل متکی است. در ادامه با

برخی از فاکتور های مهم در هنگام استفاده از شبکه عصبی در پردازش تصویر اشاره شده است :

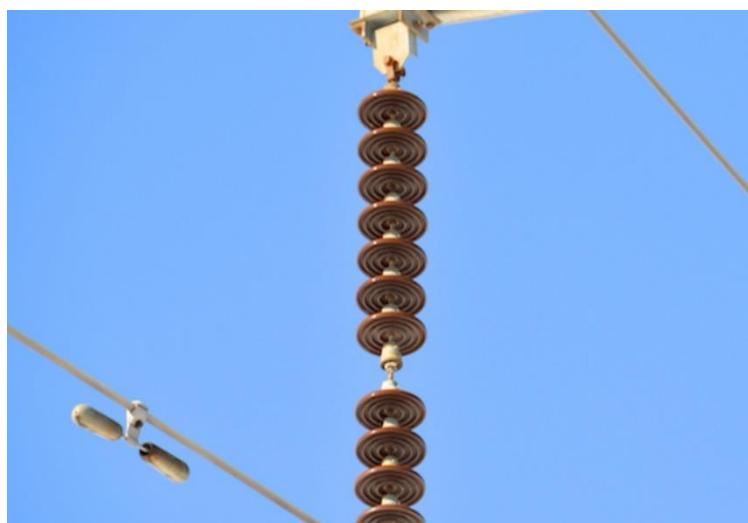
اندازه تصاویر : تصاویر با کیفیت بالا اطلاعات بیشتری را در اختیار مدل قرار می دهد اما در مقابل به میزان زیادی گره در شبکه های عصبی و همین طور قدرت پردازش بالا نیاز دارد . در شبکه های استفاده شده برای تشخیص مقره های سالم و خراب همه تصاویر به اندازه 1152^*864 تغییر ساز داده شده اند .

تعداد تصاویر : هر چه تعداد تصاویری که به یک مدل داده می شود بیشتر باشد ، دقت سیستم و در نهایت قدرت تشخیص آن بالاتر می رود . باید به این مسئله توجه کرد مجموعه تصاویری که به سیستم آموزش می دهیم نشان دهنده و نمونه ای از جمعیت واقعی که باید برای تشخیص نهایی استفاده شود ، باشد .

تعداد کanal ها : تصاویر سیاه و سفید دارای دو کanal (سیاه و سفید) و تصاویر رنگی به طور معمول دارای سه کanal رنگی RGB (قرمز ، سبز ، آبی) هستند رنگ های این تصاویر معمولا در محدوده [0,255] قرار دارند.

5.2.3 طبقه بندی تصاویر جمع آوری شده

در این پژوهه دو نوع مقره سالم (insulator) و خراب (defect) به شبکه آموزش داده شده است . خرابی ها و آسیب دیدگی های مقره ها شامل آرکزدگی ، سوختگی ، شکستگی بشقاب



تصویر 5-1 مقره آسیب دیده (شکستگی و لب پر شدن)

مقره ، لب پر شدن و ... می باشد. اگر دیتاست خوبی از تصاویر انواع مقره های سالم و خراب داشته می توان برای ارتقای شبکه مقره های خراب را به صورت جزئی تر به کلاس های گفته شده طبقه بندی نمود .



تصویر ۳-۵ مقره آسیب دیده (شکستگی و لب پر شدن)



تصویر ۴-۵ مقره آسیب دیده (آركزدگی)



تصویر ۵-۵ مقره آسیب دیده (سوختگی)

5.2.4 روند تهیه دیتاست

یکی از کارهای مهمی که باید قبل از شروع آموزش شبکه و پردازش تصویر انجام گیرد، مرحله جمع آوری تصاویر و ساخت یک دیتاست جامع است. همان طور که اشاره شد، هر چه تعداد تصاویری که به یک مدل داده می‌شود بیشتر باشد، دقیق و در نهایت قدرت تشخیص شبکه بالاتر می‌رود. برای جمع آوری تصاویر از دیتاست‌های اینترنتی و روش‌های میدانی استفاده شده است که در ادامه به توضیح هر کدام خواهیم پرداخت.

5.2.4.1 دیتاست‌های اینترنتی

یکی از راه‌های جمع آوری دیتاست جستجو در اینترنت و استفاده از سایت‌های مختلف است. ما در این بخش از دیتاست CPLID که به صورت رایگان قرار داده شده است به همراه تصاویر دریافت شده از گوگل استفاده کرده‌ایم. این قسمت چیزی در حدود 800 تصویر می‌باشد.

5.2.4.2 میدانی

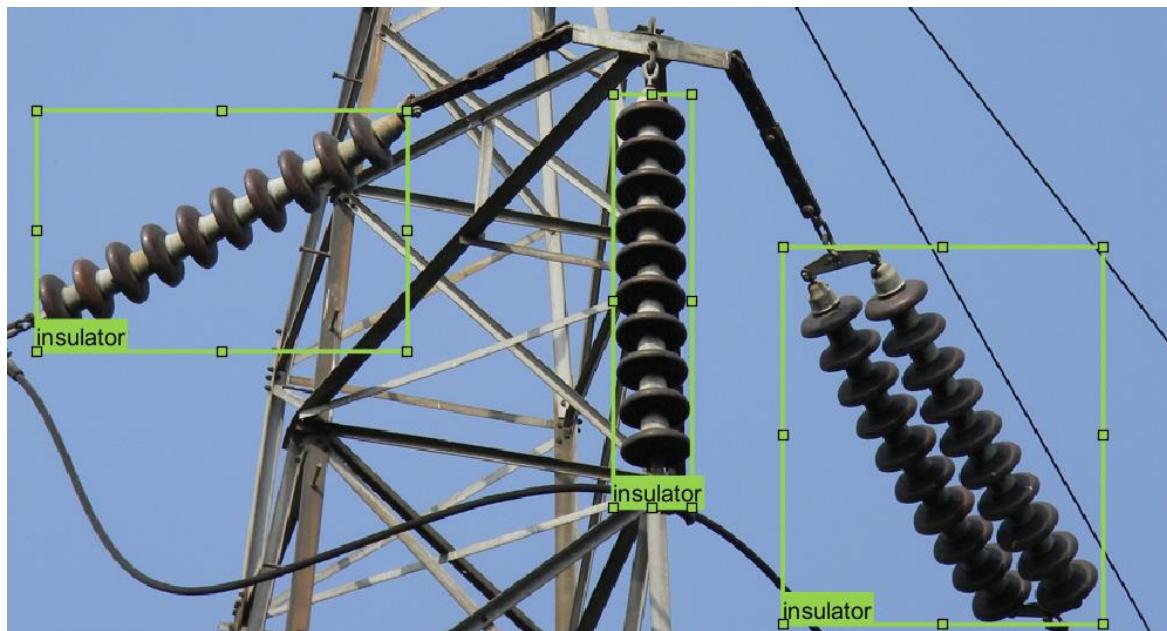
در این بخش با نصب دوربین روی کوادکوپتر و تصویر برداری از مقره‌های روی تیر برق‌ها و دکل‌های مختلف تصاویر تهیه شده است. به دلیل استفاده از دوربین پرنده و تصویر برداری در محیط واقعی، تاثیرگذاری این روش برای تهیه دیتاست در قدرت تشخیص شبکه به مراتب بیشتر از تهیه دیتاست از اینترنت است. در ادامه مشاهده می‌کنید که اینگونه تصاویر در خروجی نمایشی برای مقره‌هایی که عموماً در کشور ایران استفاده می‌شوند بسیار تاثیرگذار است. همچنین برخی دیگر از تصاویر از اداره برق هرمزگان دریافت شده است که خط انتقال برق شهرهای رودان و آبنما می‌باشد. این قسمت در مجموع شامل حدود 1100 تصویر می‌باشد.



تصویر 5-6 : دکل 63 کیلو ولت استخراج شده در بازدید میدانی

5.2.4.3 برچسب گذاری تصاویر جمع آوری شده

با استفاده از پکیج جامع آنالیزوندا که مجموعه ای از فایل ها برای زبان برنامه نویسی پایتون می باشد در قسمت labelImg همه تصاویر تهیه شده برچسب گذاری شده اند و مقره های سالم و خراب مشخص شده اند . این عکس ها متناسب با شبکه یولو ورژن 5 مطابق با پیوست بر چسب گذاری شده اند.



تصویر ۵-۷ : برچسب زدن مقره سالم با labelImg

5.2.5 معرفی کتابخانه پای تورچ

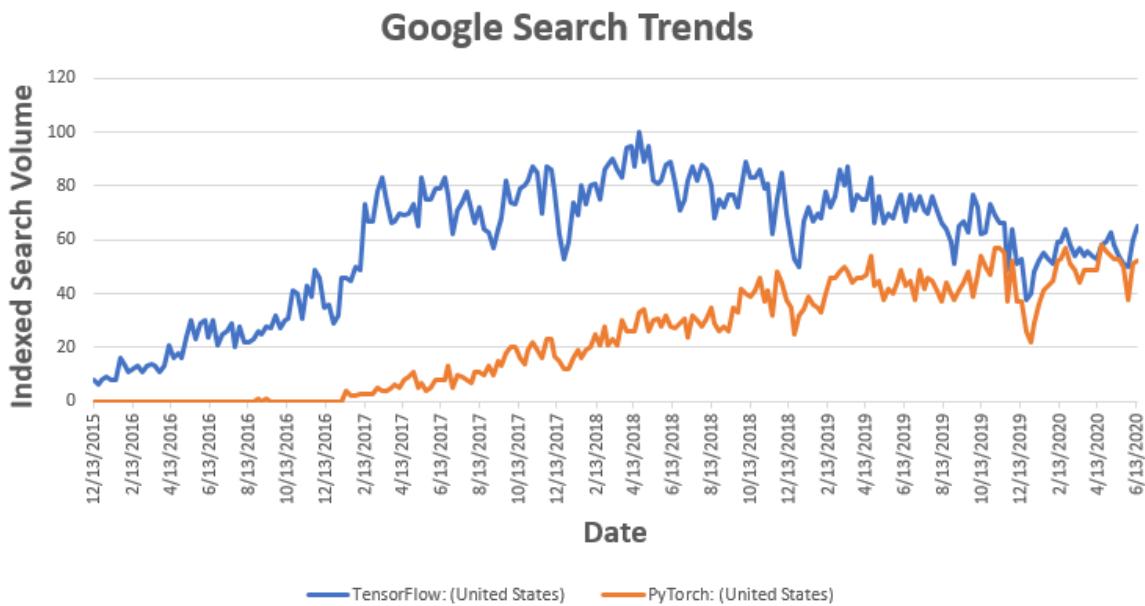
پای تورچ یک کتابخانه یادگیری عمیق متن باز بر پایه کتابخانه تورچ (Torch) است. تورچ بر پایه زبان برنامه‌نویسی Lua ساخته شده PyTorch. دو ویژگی اصلی دارد:

- محاسبات تنسورها با شتابدهی قدرتمند گرافیک

- مشتق خودکار برای ساخت شبکه‌های عصبی آموزشی

تنسورهای پای تورچ شباهت زیادی به آرایه‌های NumPy دارند، با این تفاوت که می‌توان آن‌ها را روی GPU اجرا کرد. این ویژگی بسیار مهم به حساب می‌آید زیرا می‌تواند محاسبات عددی را شتابدهی کند که این امر خود منجر به افزایش سرعت شبکه‌های عصبی به میزان ۵۰ برابر و یا حتی بیشتر می‌شود. [18]

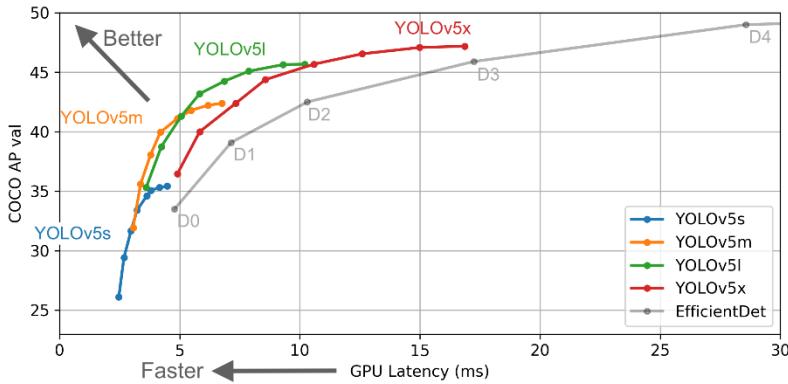
این کتابخانه در مقابل کتابخانه محبوبی مانند تنسورفلو قرار می‌گیرد. سادگی در استفاده و سرعت بالاتر در کنار دقیق بسیار بالا میزان جذابیت محبوبیت این کتابخانه را نسبت به رقیب با سابقه تر خود در سال‌های اخیر بسیار بالاتر برده است.



تصویر ۵-۸ : مقایسه میزان محبوبیت تنسورفلو و پای تورج در طول زمان

5.2.6 معرفی شبکه یولو

انسان با نگاهی کوتاه به تصویر بلا فاصله می‌فهمد چه اشیایی در تصویر وجود دارند، موقعیت‌شان در تصویر کجاست و حتی چه ارتباطی با هم دارند. این عمل‌ها برای انسان بسیار ساده هست و سیستم بینایی دقیق و سریع انسان کارهای به مراتب پیچیده‌تری مانند رانندگی را می‌تواند به آسانی انجام دهد. البته، بخش مهمی از رانندگی، شناسایی و موقعیت‌یابی اشیایی اطراف خود را هست که انسان در این زمینه مهارت بالایی دارد. حال، اگر الگوریتم‌های سریع و دقیقی برای شناسایی و موقعیت‌یابی اشیا داشته باشیم، می‌توان امیدوار بود که ماشین‌های خود را بدون نیاز به سنسورهای مخصوص داشته باشیم. شناسایی و موقعیت‌یابی اشیا از جمله زمینه‌های تحقیقاتی قدیمی و مهم در بینایی کامپیوتر است. در بینایی کامپیوتر، به شناسایی و موقعیت‌یابی اشیا در تصویر Object Detection گفته می‌شود.



تصویر ۵-۵ : مقایسه ورژن های مختلف شبکه یولو از نظر سرعت و دقیقیت

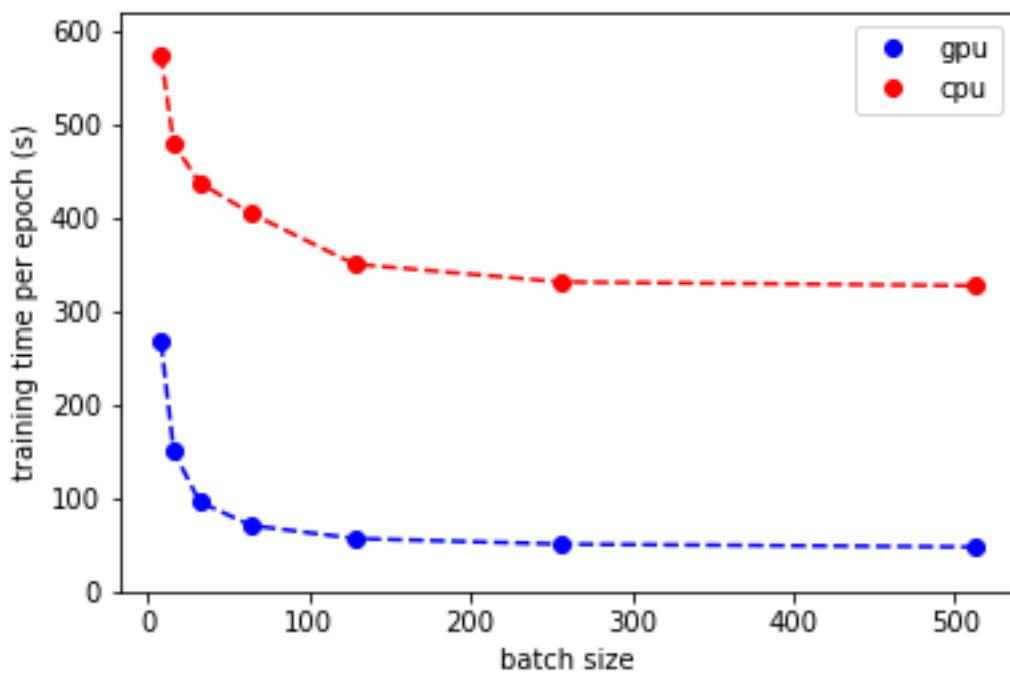
در تصویر فوق وزن های مختلف یولو ورژن ۵ را می بینید که که در سایز های و اندازه های مختلف ارائه می شوند که ما از نسخه ی yolo v5s به سبب سرعت و دقیقیت قابل قبول به دلیل نزدیکی تقریبا اشیا به دوربین استفاده نموده ایم .

در ادامه برای آموزش هر چه سریع تر شبکه نیاز به استفاده از محیطی است که بتواند با استفاده از رم و گرافیک قابل توجه در پردازش تصویر این امر را هر چه سریعتر انجام دهد.

5.2.7 معرفی محیط google colab

امروزه استفاده از GPU برای تسريع محاسبات (خصوصاً در یادگیری عمیق) امری رایج است. اما کاربران اغلب با دو مشکل مواجه هستند. یکی اینکه هزینه ی تهییه ی یک سیستم با GPU مناسب در حال حاضر زیاد است. دوم اینکه راه اندازی سیستم (شامل پیکربندی و نصب پکیج ها) بسیار زمانبر است.

پردازش سنگین و طولانی مدت بر روی حافظه مرکزی و از طرفی افزایش استهلاک سیستم اهمیت استفاده از پردازنده گرافیکی را در استفاده از آموزش شبکه های عصبی بالاتر برده است. این امر سبب بهبود و افزایش سرعت و پردازش داده ها شده است ولی از طرفی عدم پشتیبانی اکثر شبکه های عصبی از پردازنده هایی مانند شرکت intel و amd سبب مشکلاتی جدید شده است .



تصویر 5-10: مقایسه سرعت آموزش با gpu و cpu

بنابراین شرکت های مختلفی در سطح جهان شروع به ارایه ی سرویس های ابری به خصوص در زمینه-ی تسهیل در استفاده از ابزارهای یادگیری عمیق کرده اند. برخی از این سرویس دهنده ها عبارتند از :

AWS (Amazon Web Service)	-
Microsoft Azure	-
Google Cloud Platform	-
Floydhub	-
Paperspace	-
Google Colab	-

که در پروژه از سرویس Google Colab استفاده شده است . Google Colab سرویس ابری جدیدی از شرکت گوگل است که به طور ویژه برای گسترش آموزش و تحقیقات در زمینه یادگیری ماشین ارائه شده است . Colaboratory یا Colab یک محیط مبتنی بر ژوپیتر نوت بوک (Jupyter notebook) است. خیلی از ابزارهای رایج مانند نسخه های

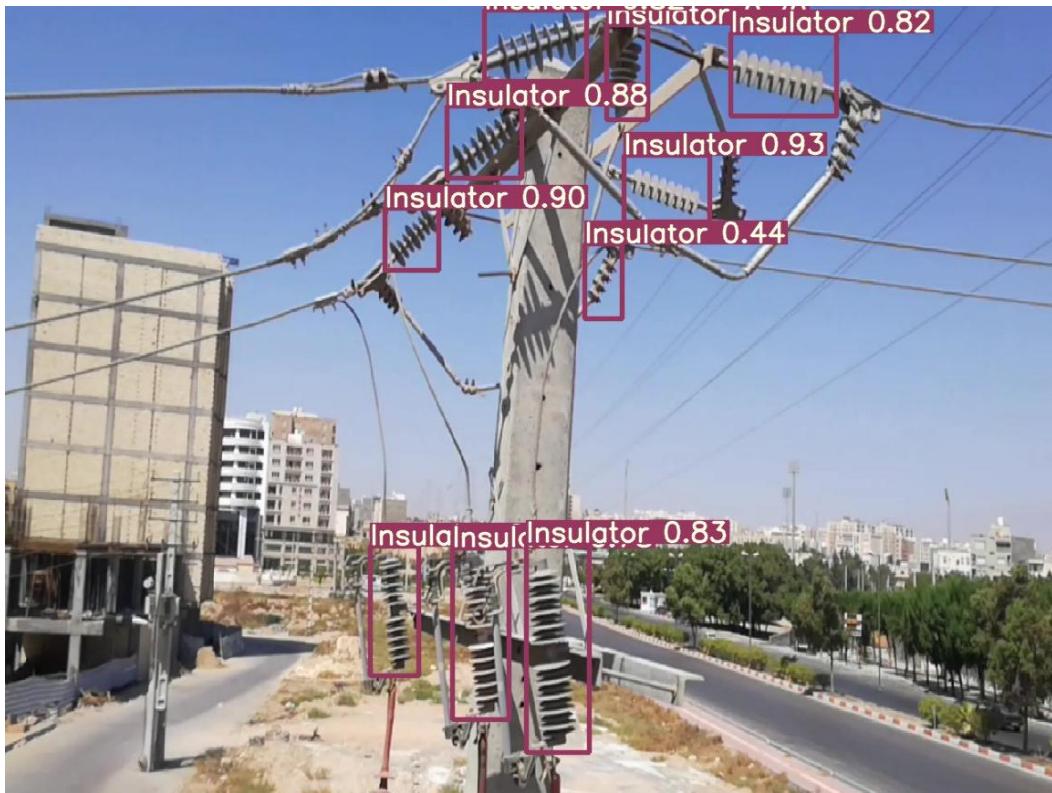
3.6 و 3.7 زبان پایتون و کتابخانه های پراستفاده ای مانند Tensorflow، matplotlib و غیره در آن از قبل نصب شده است.

علاوه بر امکانات مذکور ، Colab یک ویژگی دارد که آن را از بقیه سرویس دهنده‌گان در این ضمیمه تمایز کرده است ، امکان استفاده رایگان از GPU می باشد . در حال حاضر می توان به صورت رایگان از امکانات یک GPU با مشخصات NVIDIA Tesla K80 در کار های پردازشی استفاده کرد . (فقط 12 ساعت به طور پیوسته می توان از محیط colab استفاده نمود و بعد از آن همه ی داده ها حذف می شوند)[20]

5.2.8 آموزش شبکه و بررسی نتایج اولیه

در محیط google colab تصاویر و فایل های train و test که در قسمت های قبل تهییه شده است، در قسمت مربوطه بارگذاری میشود.

برای بررسی فایل ها و ارزیابی محیط colab می توان فایل پیوست را مشاهده کرد. بعد از به پایان رسیدن فرآیند آموزش، در همان محیط colab از چند تصویر جدید روی شبکه تست به عمل آمده و نتایج زیر حاصل شده است:



تصویر ۵-۱۱: تشخیص مقره های سالم توسط شبکه به همراه درصد قطعیت، بندرعباس شهرک گاز خط ۲۰ کیلو ولت

5.2.9 استفاده از شبکه آموزش دیده در محیط local

برای استفاده از شبکه کافیست کل فایل را به صورت فایل فشرده در آورده و دانلود کنیم و سپس مانند حالت قبل از وزن های آموزش داده شده در قسمت قبل استفاده می نماییم. شایان ذکر است برای استفاده از پردازنده گرافیکی در محیط لوکال لازم است پکیج های CUDA و CUDNN در سیستم تنظیم شوند در غیر این صورت وزن ها به صورت عادی بر روی پردازنده مرکزی سیستم اجرا خواهند شد.

5.3 دوربین

برای بهره برداری و استفاده صنعتی از پرنده احتیاج به یک دوربین سبک با ماکریمم وزن حداقل ۴۰۰ گرم می باشد. از طرفی کیفیت فیلم برداری و بزرگنمایی غیر دیجیتال می تواند از عوامل بسیار تاثیرگذار در انتخاب دوربین می باشد. با توجه به این محدوده وزنی حتی از

تلفن همراه هم می توان برای فیلم برداری با استفاده از این کوادکوپتر استفاده کرد اما ترجیح بر آن است که از یک دوربین ورزشی با ماکریم حجم 80 گرم در این جهت استفاده شود که این امر سبب افزایش مدت زمان پرواز بیشتری نیز خواهد بود.



تصویر 5-12 دوربین اکشن دارای وای فای با کیفیت 4k

5.3.1 استفاده از لرزش گیر برای حذف لرزش های دوربین در حین پرواز

یکی از بزرگترین مشکلات پرنده های بدون سرنشین دوربین دار، لرزش ناشی از فعالیت پرنده در هوا می باشد. این لرزش در تصویر برداری با فرکانس بالا و دامنه کم می باشد که در نتیجه استفاده از دوربین و اتصال آن به کوادکوپتر بدون هیچ سیستم لرزش گیر سبب بهم ریختگی و از بین رفتن جزئیات تصویر خواهد شد.

برای رفع این چالش می توان یک لرزشگیر بسیار ساده با چهار گوی پلاستیک لغزان استفاده کرد تا لرزش تصویر تا حد بسیار قابل قبولی گرفته شود. نمونه ای از این لرزشگیر را در تصویر زیر می بینید.



تصویر ۵-۱۳ نمونه ای از یک لرزشگیر برای پرنده

از جمله راهکار های دیگر کاوش لرزش دوربین می توان به فعالسازی لرزشگیر الکترونیک دوربین اشاره کرد. این قابلیت در اکثر تلفن های همراه و دوربین های ورزشی موجود می باشد.

5.3.2 انتقال تصویر به پنل زمینی

برای انتقال تصویر دوربین می توان با اتصال به وای فای دوربین و از طریق آدرس [تصویر گرفته شده از دوربین را به صورت برش خطا مشاهده کرد . لازم است که تصاویر برای پردازش به عنوان ورودی به کد پایتون داده شود که در ادامه توضیح داده می شود .](http://192.168.25.1:8080/?action=stream)

5.3.2.1 استخراج تصویر با استفاده از python و آماده سازی برای پردازش

برای دریافت تصاویر دوربین در محیط پایتون می توان از پکیج [21]mpeg-tools کرد . در این پکیج ویدیو های برش خطا به فرمت jpeg ، تبدیل به فریم عکس شده و با تغییر اندازه تصاویر به رزولوشن $1152*864$ آماده پردازش در شبکه یولو می شوند .

5.3.3 نصب دوربین روی پرنده و مشاهده تصاویر در حال پرواز

همانند تصویر ۵-۱۵ تصاویر دوربین روی گیره نگهداره خود نصب شده و با پیچ مخصوص به لرزش گیر متصل می گردد .



تصویر ۵-۱۴: نصب دوربین بر روی لرزشگیر

همان طور که در تصویر ۵-۱۶ قابل مشاهده است لرزشگیر به خوبی توانسته است لرزش دوربین را بگیرد ولی به دلیل حساس بودن دوربین به شرایط نوری مختلف ، تصاویر دارای کیفیت معمولی هستند و ممکن است به سختی پردازش شود .



تصویر ۵-۱۵: تصویر ثبت شده از دکل برق توسط پرنده در حال پرواز در روستای سردره استان هرمزگان

5.3.4 استفاده از تلفن همراه به عنوان دوربین

برای استفاده از تلفن همراه به عنوان دوربین می‌توان از نرم افزار IpWebCam استفاده نمود ، این نرم افزار توانایی ایجاد شبکه سرور و انتقال تصاویر را دارد ، وزن بالاتر تلفن همراه سبب کاهش مدت زمان پروازی می‌شود اما قابلیت‌های تلفن همراه مانند لرزشگیر الکترونیکی و قرار گیری لنز ارزان روی آن بر اهمیت استفاده آن می‌افزاید.



تصویر 5-16: تصویر ثبت شده با موبایل- دکل 63kv شهرک گاز بندرعباس

٦ فصل ششم

پنل زمینی

6.1 مقدمه ای بر پنل زمینی

به منظور نمایش خروجی و همچنین استفاده آسان و بهینه تراز این پروژه احتیاج به یک رابط گرافیکی می باشد. این رابط گرافیکی در جهت اجرای خودکار کدها و همچنین تماشای بر خط تصویر نمایشی می باشد.

به منظور ایجاد رابط گرافیکی راهکارها و روش‌های مختلفی وجود دارد که از جمله محبوب ترین آن‌ها می‌توان از فریمویر Qt نام برد.

6.1.1 معرفی QT

مجموعه‌ای از کتابخانه‌های نوشته شده به زبان C++ می‌باشد که از ویژگی‌های عمدۀ آن می‌توان به رایگان بودن، ماژول‌های فراوان برای ایجاد واسطه گرافیکی، مالتی‌ مدیا، عیب‌یابی و ... می‌باشد.

از ویژگی‌های دیگر این فریمویر می‌توان به برنامه نویسی آنی و دریافت خروجی برای سیستم عامل‌های مختلف اشاره کرد.

لازم به ذکر است Qt توسط شرکت نوکیا پشتیبانی می‌گردد [2].

6.1.2 Qt در پایتون

امروزه زبان پایتون به دلیل سادگی و از طرفی کدنویسی در سریع ترین زمان ممکن از جمله محبوب ترین زبان‌های برنامه نویسی دنیاست.

فریمویر Qt توانایی و بستری را برای زبان‌های سطح بالاتر مانند پایتون را داراست که می‌توان از جمله ماژول‌هایی که در پایتون از بستر Qt استفاده می‌کنند، PyQt و PySide را نام برد. این دو ماژول دارای دستورات یکسان می‌باشند و به دلیل قدمت بیشتر PyQt از آن استفاده می‌نماییم.

PyQt 6.1.3 معرفی

پای کیوت یا همان PyQt اتصالی پایتون و چند سکویی میباشد که از جمله جایگزینهای پیشنهادی برای برنامه نویسی رابط گرافیکی کاربر در پایتون است و به جای تی کی اینتر که با پایتون همراه است، استفاده می‌شود. PyQt نرم افزاری آزاد بوده و یک افزونه پایتون محسوب میشود. گفتنی است که توسعه PyQt بر عهده شرکت کامپیوتری ریور بانک بریتانیا میباشد.

به منظور ایجاد و طراحی رابط گرافیکی می‌توان از زبان نشانه گذاری qml استفاده کرد و در نهایت توسط هسته‌ی PyQt اجرا کرد.[22]

qml زبان نشانه گذاری 6.1.4

یک زبان نشانه گذاری رابط کاربری است. این زبان یک زبان اعلانی مشابه JSON است که در جهت ساخت رابط کاربری برای نرم افزارهای کاربردی به کار می‌رود. المان‌های QML که همراه Qt عرضه می‌شوند مجموعه پیچیده‌ای از بلوک‌های سازنده، بلوک‌های گرافیکی (مستطیل، تصویر) و بلوک‌های رفتاری (حالت، انتقال و اینیشن) هستند. این المان‌ها می‌توانند با یکدیگر ترکیب شوند و اجزایی را سازند که از نظر پیچیدگی بسیار متنوع هستند. این اجزا می‌توانند به سادگی چند دکمه و یک لغزنده و یا به پیچیدگی یک برنامه کامل با قابلیت اتصال به اینترنت باشند.

المان‌های QML را می‌توان با کمک جاوا اسکریپت استاندارد، چه به صورت درون خطی و چه با کمک فایل‌های جاوا اسکریپت موجود، گسترش داد. همچنین این المان‌ها را می‌توان به راحتی با کمک چارچوب Qt در زبان C++ یا زبان پایتون به صورت یکپارچه دراورد و حتی آن‌ها را گسترش داد.[2]

6.2 قسمت های مختلف پنل کاربری

پنل کاربری تماما برای پروژه موجود طراحی و ساخته شده است. این پنل از سه قسمت عمده منو نمایش برخط ، بررسی و آنالیز داده تشکیل شده است . در ادامه قسمت های مختلف پنل کاربری خواهیم پرداخت.

6.2.1 صفحه منو

این صفحه اولین صفحه نمایشی است که از 3 قسمت تشکیل شده است. رفتن به صفحه نمایش بر خط ، صفحه آنالیز و هم چنین سازندگان بخش های این قسمت هستند.

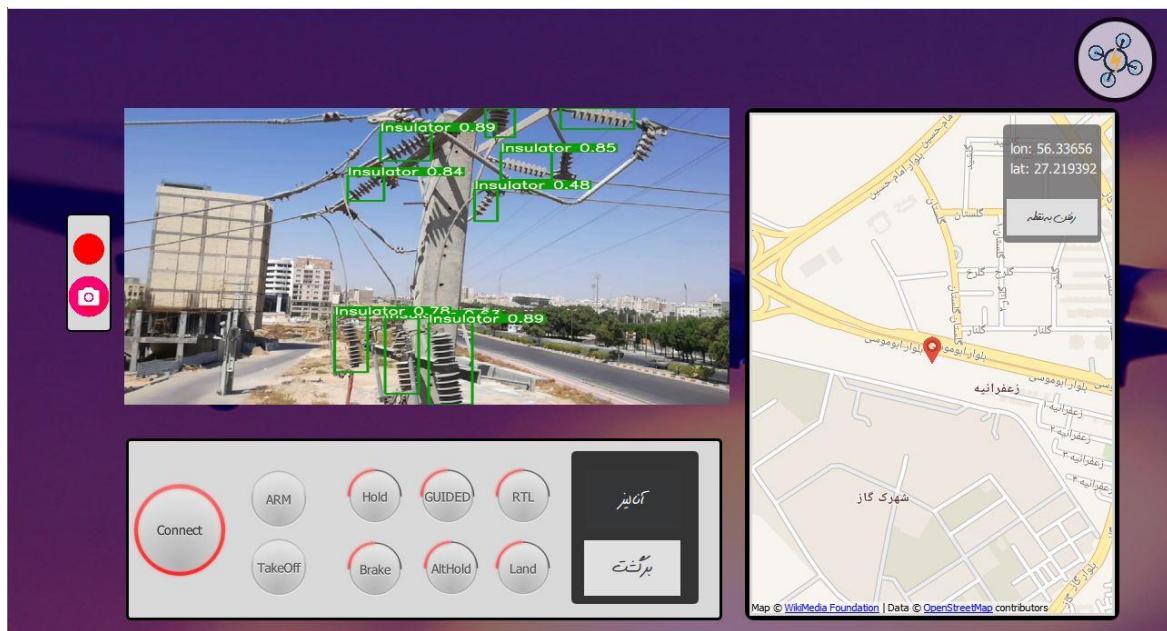


تصویر 6-1: صفحه منو در پنل کاربری

6.2.2 صفحه نمایش برخط

در قسمت سمت راست این صفحه ، نقشه ای قرار دارد که موقعیت فعلی پرنده را نشان می - دهد. همچنین در این قسمت می توان پرنده را به نقطه خاصی از نقشه هدایت نمود. در قسمت سمت چپ بخش نمایش بر خط تصاویر قرار دارد که می توان فریم به فریم تصاویر

دربیافتی را مشاهده نمود. در این قسمت همچنین می‌توان تصاویر دریافتی را ذخیره نمود. در قسمت پایین نیز بخش کنترل قرار دارد که به وسیله آن می‌توان شبکه عصبی رو به صورت بر خط فعالسازی نمود به پرنده وصل شد و فرمان‌هایی را از این طریق به پرنده داد.



تصویر 6-2: صفحه نمایش بر خط پنل کاربری-خط 20 کیلو ولت شهرک گاز ،

6.2.3 صفحه آنالیز بر خط

در این صفحه می‌توان انواع مختلف عکس‌های مقره را به صورت تفصیلی به شبکه داد و خروجی آن را بررسی کرد ، این قسمت برای زمانی که شخص ناگاه است و دسترسی به فایل مهیاست بهترین روش ممکن برای تشخیص خطا در سیستم می‌باشد.



تصویر 6-3 صفحه آنالیز - تصویر خط 200 کیلو ولت آلومینیوم المهدی هرمزگان

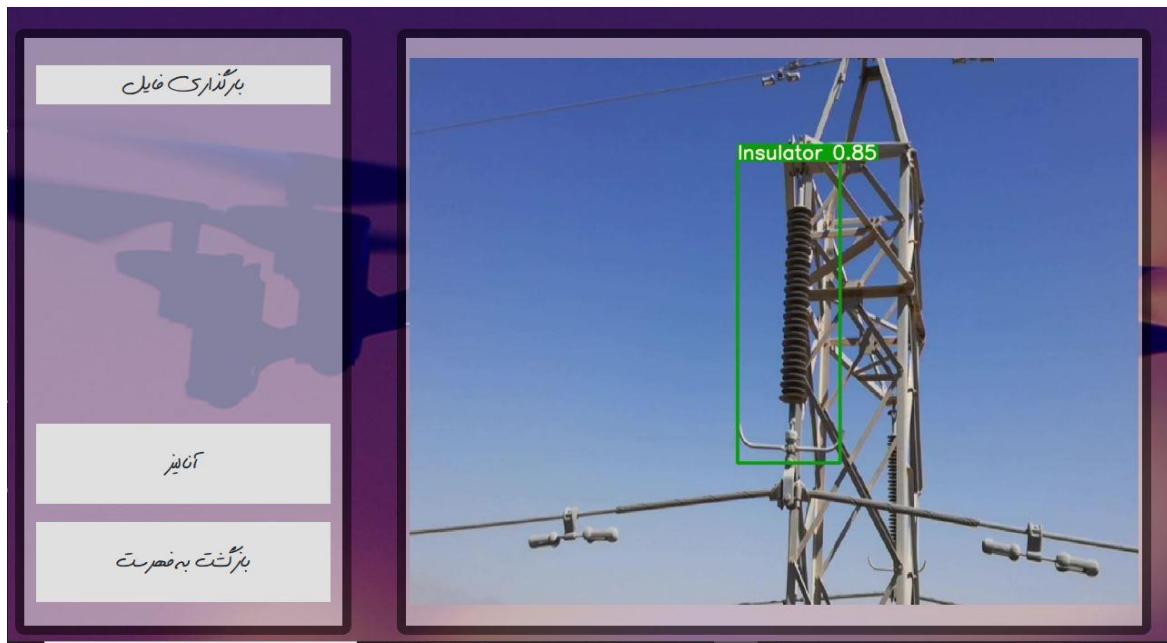
7 فصل هفتم

جمع بندی و بررسی نتایج

در این بخش با تلفیق الگوریتم های شبکه های عصبی با پنل کاربری و آماده سازی پرندۀ برای تصویر برداری در حین پرواز می‌توان عملیات تصویر برداری از خطوط انتقال برق به خصوص مقره ها توسط کوادکوپتر را شروع کرد . بدین صورت که پرندۀ شروع به پرواز کرده و خود را به فاصله‌ی تعیین شده ای از دکل می‌رساند . اپراتور در پایین دکل می‌تواند تصویر المان های دکل را مشاهده کند .



تصویر 0-1 : خط 63 کیلو ولت - بندرعباس شهرک گاز تصویر خام گرفته شده از کواد کوپتر



تصویر 7-2: تصویر پردازش شده توسط شبکه عصبی

اگر به تصویر پردازش شده توجه شود مشاهده می‌گردد که پرنده عملکرد قابل قبولی را داشته است و توانسته تمام مقره هارا تشخیص دهد. روند پیش رو برای کامل کردن دیتاست، تصویر برداری از مقره های سالم و خراب توسط پرنده می باشد. بدین صورت که پرنده به مدت زمانی حدود 10 دقیقه از مقره های منطقه مورد نظر فیلم برداری می‌کند و با توجه به نظرات اپراتور فریم های شامل مقره خراب و سالم از هم تفکیک می‌شود و به سیستم آموزش داده می‌شود. با اجرا شدن این روند می‌توان دیتاست های بسیار جامعی را برای پرنده تهیه کرد. دیتاست هایی که علاوه بر مقره، هادی، جامپر، برق گیر و ... را شامل می‌شود و شبکه نسبت به المان های ذکر شده آموزش می‌بیند و میزان سلامت کل خط انتقال را نمایش می‌دهد.

از مزیت های این پروژه می‌توان به مستقل بودن اجزای آن از یکدیگر نام برد که می‌توان همانند تکه های پازل این اجزا را از هم جدا کرد یا به هم متصل کرد. به عنوان مثال می‌توان این پروژه را با نصب یک دوربین روی پرنده بال ثابت اجرا کرد و خطوط انتقال با طول بلند را با توجه به سرعت بالا پرنده های بال ثابت در عرض چند دقیقه پایش کرد.

7.1 نظرات و پیشنهادات پایانی جهت بهبود پروژه

1- نصب لرزشگیر به همراه گیمبال :

در این روش با نصب یک لرزشگیر به همراه یک گیمبال قابلیت چرخش دوربین در محور های مختلف بدست می آید . در این روش دیگر نیازی به جابه جایی پرنده در هوا نیست و فقط کافی است پرنده در فاصله 10 متری دکل بایستد و با استفاده از گیمبال جهت دوربین به سمت مقربه قرار می گیرد .

2- تهیه دیتاست با مقره های متنوع :

برای اینکه پرنده به عیب یابی مقره های مختلف به پردازد باید از دیتاست جامع و غنی استفاده کرد . دیتاست جامعی از مقره های خراب ، موجب می گردد که پرنده در شرایط سخت پروازی نیز دقیق تر تشخیص و شناسایی داشته باشد .

3- استفاده از دوربین ترمومویژن :

استفاده از دوربین ترمومویژن امکان تصویر برداری در شب را نیز فراهم می کند و با استفاده از تصاویر گرمایی عیب یابی بسیار دقیق تری نسبت به تصاویر معمولی می توان داشت.

8 منابع و مراجع

- [1] 1398-1397 د. ح. شاطری, بهمن [Online].
- [2] Q. refrence, "Qt document," [Online]. Available: <http://doc.qt.io>.
- [3] M. Wade, "waytopoint," [Online]. Available: <https://waypoint.sensefly.com/buy-fixed-wing-drone-or-rotary/>. [Accessed 13 10 2015].
- [4] ardupilot, "ardupilot," [Online]. Available: <https://ardupilot.org/ardupilot/>.
- [5] mavlink.io, "mavlink," [Online]. Available: <https://mavlink.io/en/>.
- [6] dronkit, "dronekit," [Online]. Available: <https://dronekit.io/>.
- [7] wikiROS-mavros, "wikiROS," [Online]. Available: <http://wiki.ros.org/mavros>.
- [8] qground. [Online]. Available: <http://qgroundcontrol.com/>.
- [9] GPS-RadioLink. [Online]. Available:
<http://radiolink.com.cn/doce/UploadFile/ProductFile/TS100Manual.pdf>.
- [10] tarotrc.com, "tarot," [Online]. Available: <http://tarotrc.com>.
- [11] T. r. link, "radiolink," [Online]. Available:
<http://radiolink.com.cn/doce/UploadFile/ProductFile/T8FBManual.pdf>.
- [12] ardupilot-telemetry-esp8266. [Online]. Available: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-esp8266-telemetry.html>.
- [13] modeliran. [Online]. Available: <https://www.modeliran.com/products/>

- [14] ardupilot-sitl, "SITL," [Online]. Available: <https://ardupilot.org/dev/docs/sitl-simulator-software-in-the-loop.html>.
- [15] ardupilot, "ardupilot flight mode," [Online]. Available: <https://ardupilot.org/copter/docs/flight-modes.html>.
- [16] px4, "px4_pid_tunning," [Online]. Available: https://docs.px4.io/en/config_mc/pid_tuning_guide_multicopter.html.
- [18] . [Online]. Available: https://shahaab-co.ir/tensorflow_started1/.
- [19] م. لطفی, "faradars," [Online]. Available: <https://blog.faradars.org/google-tensorflow-object-detection-api/>.
- [20] deeperai, "DeeperAi," [Online]. Available: <http://deeperai.blog.ir/post/colab-guides>.
- [21] pypi, "install mjpeg-tools lib," [Online]. Available: <https://pypi.org/project/mjpeg-tools/>.
- [22] pypi, "PyQt5 معرفی," [Online]. Available: <https://pypi.org/project/PyQt5/>.
- [23] px4-sitl, "px4-sitl," [Online]. Available: <https://dev.px4.io/v1.9.0/en/simulation/>.

۹. پیوست ها

برای دانلود پیوست ها می توانید به آدرس زیر مراجعه نمایید.

[دانلود فایل های دیتاست](#)

[دانلود نرم افزار های مورد نیاز](#)

[پکیج های لازم جهت راه اندازی](#)

[پنل کاربری](#)

[فایل های پروژه](#)