



## طراحی و ساخت کوادکوپتر با دستگاه ناوبری جدید به عنوان پنجره دید دوم برای اسنایپرها

زهره ابراهیمی<sup>1\*</sup>، پارسا بهزادی<sup>2</sup>

1- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه پیام نور، ایران

2- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه پیام نور، ایران

\*تهران، صندوق پستی 3697-19395، z.ebrahimi@pnu.ac.ir

## چکیده

## اطلاعات مقاله

این تحقیق به طراحی و ساخت یک کوادکوپتر جهت افزایش قابل توجه احتمال کشف اهداف مستتر با در اختیار قرار دادن نمای بالای اهداف نقاط مختلف، که از روبرو نیز با دوربین اسلحه تحت نظر هستند، برای استفاده اسنایپرها می‌پردازد. پروسه ذکر شده توسط یک دستگاه کوادکوپتر مجهز به دوربین و فرستنده انجام می‌گردد، که با توجه به الزامات پروژه از ابتدا ساخته شده و روی قطعات و قابلیت‌های آن مطالعات لازم انجام شده است. کنترلر پرواز آن قابلیت پشتیبانی از ماژول‌های موردنیاز را دارد و با رادیو کنترل و کامپیوتر به صورت آنلاین تبادل دیتا می‌نماید. یک ماژول ناوبری جدید، مجهز به مسافت یاب لیزری، جهت محاسبه و ایجاد خروجی نقطه GPS از راه دور ساخته شده و کنترلر آن طبق الگوریتم‌های مکان‌یابی جهانی برنامه‌ریزی شده است؛ طوری که با فشردن یک دکمه مختصات یک نقطه مشخص از راه دور ایجاد شده و ضمن نمایش آن در نمایشگر به کامپیوتر منتقل می‌گردد. کوادکوپتر نیز طبق یک مأموریت نقطه‌ای به مختصات اعلام شده حرکت و با دوربین خود از نمای بالا شکل ارسال می‌کند. بدین صورت جهت نقطه هدف، علاوه بر شکل روبرو که از طریق خط دید مستقیم وجود دارد، شکل دوم نیز هم‌زمان در اختیار کاربر قرار می‌گیرد و بدین صورت احتمال کشف اهداف دوچندان می‌گردد. بر اساس قطعات موجود در بازار، این مجموعه تهیه و ساخته شده است. در آخر تست عملی انجام شده و نتایج و خطاها محاسبه و ارائه گردیده است.

مقاله پژوهشی کامل  
دریافت: 12 شهریور 1400  
داوری اولیه: 28 مهر 1400  
پذیرش: 14 آبان 1400

## کلیدواژه‌ها:

کوادکوپتر  
دستگاه ناوبری  
اسنایپر  
کنترلر

## Design and construction of a quadcopter with a new navigation module as a second view for snipers

Zohreh Ebrahimi<sup>\*</sup>, Parsa Behzadi

Department of Mechanical Engineering, Payame Noor University, Iran

\* P.O.B. 19395-3697 Tehran, Iran, z.ebrahimi@pnu.ac.ir

## Article Information

Original Research Paper  
Received: 3 September 2021  
First Decision: 20 October 2021  
Accepted: 5 November 2021

## Keywords:

Quadcopter  
Navigation module  
Sniper  
Controller

## Abstract

The aim of this paper is the application of quadcopters to significantly increase the probability of discovering hidden targets by providing an upper sight view of the targets of different points for professional snipers. The mentioned process is performed by a quadcopter equipped with a camera and a transmitter, which is made, assembled, and studied from the beginning according to the requirements of the project, and some necessary studies have been done on its parts and capabilities. Its main flight controller is capable of supporting the required modules and exchanges data online with the radio control and computer. A novel navigation module equipped with a laser rangefinder is also designed in order to calculate and generate output of remote GPS point with the required components, and its controller is programmed according to global locational algorithms. By pressing a button, the coordinate of a specific remote point is created and transmitted to the computer by a serial port. According to a point mission, the quadcopter moves to the announced coordinate and sends the image from the top view with its camera and transmitter. In this way, for the target point, a second image is also provided for the user, besides the direct image which exists through the direct line of sight, which doubles the probability of discovering the targets. The manufacturing process is based on available equipment in the market. Finally, some tests are performed and the results and errors are calculated.

## 1- مقدمه

گرفتن از چهار پروانه برای نیروی پیشرانس، به عنوان کوادکوپتر نامیده می‌شوند. کوادکوپترها به دلیل داشتن قدرت مانور فوق العاده و پرواز با تعادل بالا کاربردهای بسیار گسترده‌ای دارند. کوادکوپترها با بهره‌گیری از چهار موتور و پره مجزا و چرخش دوبه‌دو معکوس این موتورها نیروی گشتاورهای ایجاد شده را

برای توسعه پرنده‌های بدون سرنشین یا پهپادها، امروزه گسترش زیادی در حوزه‌های مختلف صنعتی و نظامی داشته است [1]. پرنده‌های چند روتوری، از جمله کوادکوپترها یک نوع پهپاد از زیرمجموعه دسته مالتی روتورها هستند که به دلیل کمک

## Please cite this article using:

Z. Ebrahimi, P. Behzadi, Design and construction of a quadcopter with a new navigation module as a second view for snipers, Iranian Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 8, No. 8, pp. 52- 59, 2021 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

ارسال، به نقطه مرجع باز می‌گردد. بدین صورت هم‌زمان با نمای روبرو یک شکل از نمای بالا به‌عنوان نمای دوم در اختیار اسنایپر قرار می‌گیرد. این شکل زمانی که هدف استتار شده از روبرو قابل دیدن نباشد یا پشت موانع در حال حرکت باشد، حتی اگر به علت صدای پرنده از وجود آن آگاه شود، برای کاربر سودمند است و وی را برای مواجهه مؤثر با هدف آماده می‌کند. در حال حاضر از پهپادها به‌صورت موردی جهت کمک به نیروها استفاده می‌شود؛ لذا ساخت سیستم کوادکوپتر این پژوهش جدید و نوآورانه است.

## 2- مواد و روش‌ها

کوادکوپترها با بهره‌گیری از چهار موتور و پره مجزا و چرخش دوبه‌دو معکوس این موتورها گشتاورهای ایجاد شده را خنثی و اختلاف فشار لازم جهت ایجاد نیروی بالابری را تأمین می‌کنند. شکل 1 جهت چرخش پروانه‌ها را در یک کوادکوپتر نشان می‌دهد، که در آن  $MP_1$  سرعت موتور i ام است. Pitch، Roll و Yaw به ترتیب گردش حول محور عمودی، افقی طولی و افقی عرضی را نشان می‌دهند.

نحوه ایجاد فرمان‌ها کنترلی در کوادکوپترها به این صورت است که، کم یا زیاد کردن سرعت چرخش همه موتورها منجر به کمتر یا زیادتر شدن اختلاف فشار به وجود آمده و تغییر ارتفاع می‌شود. تمامی این فرمان‌ها توسط برد کنترلر پرواز ایجاد می‌شود. این برد از المان‌هایی نظیر میکروپروسسورها و قطعاتی نظیر ژيروسکوپ، جی‌پی‌اس، قطب‌نما، مازول ارتباط رادیویی تله‌متری و شتابسنج جهت تشخیص زاویه، موقعیت و حرکت کوادکوپتر استفاده می‌کند و مغز پرنده محسوب می‌شود. شناسی و بدنه پهپاد، منبع تغذیه (باتری)، موتورهای الکتریکی براشلس، ملخ، اسپید کنترل، فلاپت کنترل و رادیو کنترل از اجزای اصلی یک کوادکوپتر است.

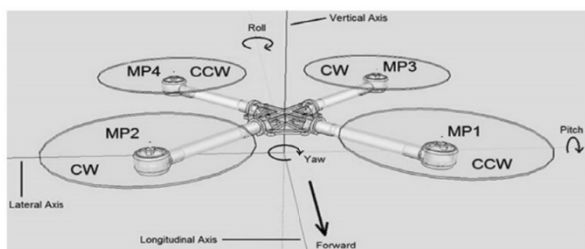


Figure 1 Quadcopter diagram with motor identifiers.

Fig. 1 Rotation of motors and Roll, Yaw and Pitch axes

شکل 1 جهت چرخش موتورها و سه محور Roll, Yaw, Pitch

قبل از هر کاری باید تجهیزات الکترونیک شامل فلاپت

خنثی می‌کنند و همچنین اختلاف فشار لازم جهت ایجاد نیروی بالابری را تأمین می‌کنند. در سال‌های اخیر توجه شرکت‌ها، دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی بیش‌ازپیش به این نوع از زهپادها جلب شده است و پیشرفت چشم‌گیری در امکانات و پرواز این نوع از پرنده‌ها مشاهده می‌شود [2-5]. ذاکری و همکاران [6] کوادکوپتری به نام ره‌بین برای بررسی روکش آسفالت جاده‌ها، بر پایه روش پردازش تصویر، ساختند. عمران و نجاران [7] مروری بر سیستم‌های مکانیکی کوادکوپترها و چالش‌های مرتبط با کنترل آن‌ها ارائه دادند. سیستم یک نمونه کوادکوپتر با کنترل ارتفاع و وضعیت آن توسط احمد و پاتیل [8] مدل‌سازی و شبیه‌سازی شد. اخیراً نیز، پرنده‌های بدون سرنشین هیبریدی [9] و ناوگان پهبادی [10] در تحقیق‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

از زمان پیدایش علوم و فنون و ابزارهای تیراندازی دقیق<sup>1</sup> و نیز تأثیر شگفت‌انگیز آن‌ها در میدان‌ها نبرد، همواره دو موضوع مهم مدنظر بوده است؛ یکی مستتر و مخفی شدن از دیدمستقیم به هر روش ممکن و دوم کشف اهداف مستتر با اتکا به تاکتیک‌ها و تمام ابزارهای در دسترس. تیرانداز مجبور است جهت دیده نشدن از پوشش‌ها و ابزارهای مؤثرتری استفاده کند، ضمن آنکه جهت کاوش اهداف مستتر نیز وقت زیادی باید صرف نماید.

لذا، این پژوهش به طراحی و ساخت سیستم کوادکوپتر، به‌صورت سخت‌افزاری و نرم‌افزاری می‌پردازد، تا علاوه بر نمای روبرو از طریق دوربین سلاح، یک نمای دوم از بالا در اختیار کاربر قرار گیرد و باعث افزایش مؤثر قدرت تشخیص و کشف هدف گردد.

در این پژوهش، سعی بر این است که با طراحی و به‌کارگیری از ابزارها و تجهیزات موجود در بازار، هرچند با کیفیت و دقت محدود، سیستم کوادکوپتر با یک مازول ناوبری جدید به‌عنوان پنجره دید دوم برای اسنایپرهای طراحی و ساخته شود. مکانیزم اصلی به‌صورت ارتباط مثلثی، به عبارتی سیستم ناوبری - نقطه هدف - کوادکوپتر، عمل می‌نماید. دستگاه ناوبری محاسبه مختصات GPS نقطه هدف را با هدف‌گیری و فشردن یک دکمه انجام می‌دهد و آن را ضمن نمایش تحت فرمت UTM از طریق پورت USB به کامپیوتر وارد می‌نماید. سپس پرنده که در یک نقطه ثابت مرجع، به‌صورت آماده‌به‌کار قرار دارد، مختصات جدید را دریافت نموده ارتفاع گرفته و به سمت آن پرواز می‌کند و پس از توقف کوتاه و شکل برداری ضمن

<sup>1</sup> Snipe

فرمت UTM به دلیل دوبردی بودن در سیستم‌های ناوبری و راداری کاربرد زیادی دارد و هدف آن جانمایی و ایجاد مختصات GPS نقطه‌ای است که مطابق شکل 3 از دستگاه فاصله دارد. در شکل 3،  $S(X_1, Y_1)$  نقطه مبدأ دستگاه با مختصه‌های برگرفته از مختصات UTM محل استقرار است. محور  $Z$  ارتفاع نسبت به موقعیت مکانی دستگاه،  $Y$  سمت شمال جغرافیایی،  $X$  سمت شرق جغرافیایی،  $P$  نقطه هدف،  $R$  مسافت مستقیم دستگاه تا نقطه  $P$ ، زاویه بردار  $R$  نسبت به تراز افق و  $\theta$  زاویه بردار  $r$  نسبت به محور شرق جغرافیایی هستند.

خروجی‌ها و ورودی‌های دستگاه ناوبری در شکل 4 نشان داده شده‌اند. ورودی‌ها شامل مختصه  $X_1$  و  $Y_1$  نقطه  $S$  برگرفته از ماژول GPS و کنترلر مبدل مربوطه، زاویه‌های  $\Phi$  و  $\theta$  برگرفته از ماژول زاویه‌سنج سه‌بعدی، طول  $R$  برگرفته از ماژول مسافت یاب لیزری و ناحیه (Zone) مربوط به منطقه عملیات پرواز هستند. خروجی دستگاه، مختصات TM نقطه  $P$  است که با  $P_{utm}$  نشان داده می‌شود.

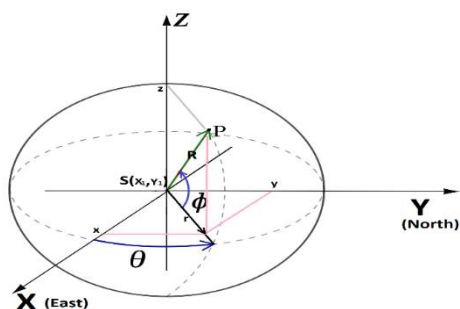


Fig. 3 Coordinates of the target point P at a distance R from the origin  
شکل 3 مختصات نقطه هدف گذاری شده در فاصله R از مبدأ

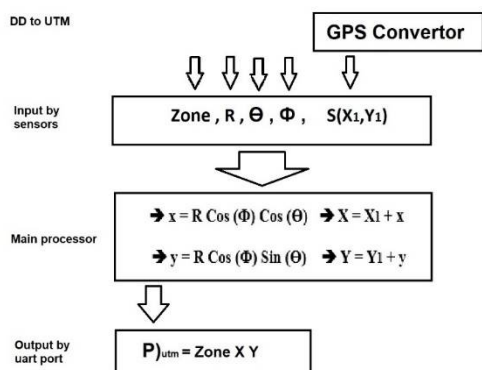


Fig. 4 Navigation module inputs, processes and outputs  
شکل 4 ورودی، فرآیند و خروجی‌های دستگاه ناوبری

قطعات الکترونیک به کاررفته دستگاه ناوبری و مشخصات آن‌ها در جدول 1 نمایش داده شده است. این قطعات شامل مسافت

کنترل، برد پاور، موتورها، سنسور و ماژول جایرو، سنسور و ماژول جی‌پی‌اس، قطب‌نما، رادیو کنترل و ماژول ارتباطی، با مشخصات، کیفیت و قابلیت‌های موردنیاز کاربر انتخاب گردد. ابعاد و وزن مجموع آن‌ها جهت نصب در مرکز ایرفریم در نظر گرفته و یادداشت می‌شود. ابعاد محموله که پرنده برای آن انتخاب می‌شود و وزن آن نیز باید مشخص شود. قدرت حداکثر مجموع موتورها تقریباً 16 تا 20 برابر وزن محموله در نظر گرفته می‌شود. این ضریب به صورت تجربی به دست می‌آید و ضریب تعادل نامیده می‌شود. توجه شود که برای پهنادهای سرعتی که محموله ندارند وزن باطری به عنوان محموله در نظر گرفته شده و مبنای محاسبات قرار می‌گیرد برای انتخاب قطعات کیفیت، وزن کمتر و البته هزینه آن نیز دخیل خواهد بود که بایستی با جستجو در بازار قطعات کواد کوپتر موارد مناسب انتخاب شود. هر نوع موتور دیتا شیت مخصوص به خود را دارد که قدرت تراست وزنی، آمپر مصرفی و سایز ملخ‌های انتخابی در آن ذکر شده است. تراست ماکزیمم وزنی هر موتور متناسب با سایز ملخ انتخابی و ولتاژ باطری باید تعیین شود.

## 1-2- محاسبه GPS و مونتاژ دستگاه ناوبری

تعیین این سیستم بخش نوآورانه‌ی این پژوهش است و به نحوی طراحی شده است، که با استفاده از سنسورها، مسافت یاب، کنترلرها و الگوریتم‌های مربوطه هم‌زمان با در اختیار داشتن مختصات GPS مبدأ (مکان استقرار دستگاه)، مختصات هر نقطه که توسط مسافت یاب لیزری هدف‌گیری می‌شود را با فرمت UTM توسط یک پورت سریال UART به کامپیوتر اعلام می‌کند و در صفحه نمایشگر نمایش می‌دهد (شکل 2).



Fig. 2 Complete assembly of remote coordinate navigation module  
شکل 2 مونتاژ کامل دستگاه ناوبری مختصات یاب از راه دور

فرمت UTM که برای محاسبات و انتقال نقطه GPS استفاده می‌شود، سطح کره زمین را به صورت موزاییکی قسمت‌بندی می‌کند. در هر بخش مختصات هر نقطه به صورت  $S(x, y)$  است.

شده از ماژول جی پی اس UBLOX7 است. D فاصله به متر که از ماژول مسافت یاب دریافت می گردد. پارامترهای UY2, UX2 مختصات محاسبه شده و خروجی سیستم هستند.

## 2-2- مونتاژ کوادکوپتر

در مونتاژ در مونتاژ کوادکوپتر باید قطعات فریم و قطعات الکترونیکی همزمان و به ترتیب ذکر شده نصب شود. ابزارها و قطعات موردنیاز در شکل 6 نشان داده شده اند.

ابتدا کابل برق ورودی اسپید کنترل ها، با رعایت قطب مثبت و منفی بر روی ماژول پاور به خوبی لحیم می شوند؛ حال، مطابق شکل 7، پایه های ایرفریم S500 روی طبقه وسط پیچ می شود و رو به بالا قرار می گیرد. سپس ماژول پاور و گیرنده R9DS به کمک برچسب های دوطرفه از زیر به صفحه اصلی میانی ایرفریم نصب و محکم می گردد.

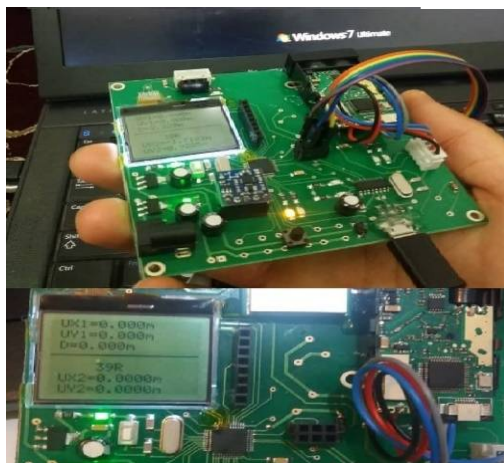


Fig. 5 Navigation module and its monitor

شکل 5 دستگاه ناوبری و مانیتور آن



Fig. 6 Required tools and elements









شکل 6 ابزارها و قطعات موردنیاز

مطابق شکل 8، مراحل نصب شاسی نگه دارنده باتری انجام می شود. سپس، فلایت کنترل روی صفحه اصلی ایرفریم نصب

سنج لیزری، برد خام مدار چاپی، نمایشگر گرافیکی، ماژول ژيروسکوپ و قطب نمای سه محوره، ماژول GPS، پردازنده 32 بیتی و آی سی واسط USB هستند.

جدول 1 قطعات الکترونیکی به کاررفته در ساخت دستگاه ناوبری

Table 1 Electronic components for navigation module construction

			
قطب نمای سه محوره مدل QMC5883L دقت 1 درجه 3.6 ولت	نمایشگر گرافیکی NOKIA تایپ 1202	برد خام مدار چاپی	مسافت سنج لیزری برد 50 متر دقت 1 میلی متر ساخت HUIMAI
			
پردازنده 32 بیتی تایپ STM32F103C8T6 ARM خانواده	ماژول GPS تایپ UBLOX7 با خطای زیر 4 متر	ماژول ژيروسکوپ سه محوره ساخت آردینو تایپ MPU6050 با دقت 0.1 درجه	آی سی واسط USB تایپ CH340G

## 2-1-1- مونتاژ دستگاه ناوبری

برنامه اصلی دستگاه طبق الگوریتم و فرمول های مربوطه به زبان C و در محیط کامپایلر Keil نوشته شده است. برنامه تبدیل فرمت جی پی اس DD به UTM نیز در همین محیط نوشته شده و خروجی آن به برنامه اصلی لینک شده است. در محیط کامپایلر کیل، محیطی یکپارچه ویژه جهت برنامه نویسی میکروکنترلرهای 32 بیتی خانواده ARM طراحی شده است. میکروکنترلر اصلی ساخت شرکت ST میکروالکترونیک است، که برنامه ها با آداپتور مربوطه بر روی آن بارگذاری شده است.

ماژول قطب نمای سه محوره از طریق درگاه استاندارد 12C دیتای زاویه محورهای XYZ را به میکرو کنترلر منتقل می نماید. ماژول مسافت سنج لیزری و ماژول GPS تحت پروتکل استاندارد UART کار می کنند و دیتاهای مختصات موقعیت مکانی و مسافت را پس از دریافت فرمان، به پردازنده اصلی منتقل می نمایند.

از یک آی سی واسط USB به نام CH340G نیز استفاده شده است، که میکروکنترلر مختصات نقطه هدف گذاری شده توسط لیزر را پس از پردازش به کامپیوتر ارسال می نماید. مانیتور نمایشگر سریال نیز که با واسط استاندارد SPI به خروجی میکروکنترلر وصل شده است، مختصات (Zone, X, Y) را طبق فرمت UTM نمایش می دهد. مطابق شکل 5، در مانیتور دستگاه UY1, UX1 مربوط به مختصات مکان استقرار و ارسال

می‌شود. هوزینگ ریل‌ها روی صفحه اصلی فریم تنظیم و به آن پیچ می‌شود. قبل از بستن ریل‌ها، حتماً باید کابل اسپید کنترل‌ها از زیر آن‌ها به سمت چهار جهت شاخک‌ها بگذرند. شاسی برگردانده و پایه کوادکوپتر روی زمین قرار می‌گیرد. این مراحل در شکل 9 نشان داده شده‌اند.

می‌شود. هوزینگ ریل‌ها روی صفحه اصلی فریم تنظیم و به آن پیچ می‌شود. قبل از بستن ریل‌ها، حتماً باید کابل اسپید کنترل‌ها از زیر آن‌ها به سمت چهار جهت شاخک‌ها بگذرند. شاسی برگردانده و پایه کوادکوپتر روی زمین قرار می‌گیرد. این مراحل در شکل 9 نشان داده شده‌اند.

برچسب تمام آن‌ها رو به زمین باشد. اکنون نوبت نصب GPS است. فیش ماژول GPS به انتهای آزاد کلکتور وصل می‌شود. باید تمامی اتصالات یکبار دیگر چک شود و صفحه فوقانی ایرفریم با رعایت جهت فلش آن در جای خود محکم شود. در ادامه، نصب موتورها و ملخ‌ها باید تکمیل شود، که در شکل 11 ارائه شده است.



Fig. 7 Installing airframe bases with the receiver and power module  
شکل 7 نصب پایه‌های ایرفریم هم‌زمان با گیرنده و ماژول پاور



Fig. 10 Installing speed control signal cables and airframe plugs  
شکل 10 نصب کابل‌های سیگنال اسپید کنترل و شاخک‌های ایرفریم



Fig. 8 Installation steps of the battery holder chassis  
شکل 8 مراحل نصب شاسی نگهدارنده باتری



Fig. 11 Steps for installing motors and propellers  
شکل 11 مراحل نصب موتورها و ملخ‌ها



Fig. 9 Installing flight control on airframe main plane  
شکل 9 نصب فلایت کنترل روی صفحه اصلی ایرفریم

آخرین مرحله نصب باتری است. همان‌طور که در شکل 12 نشان داده شده است، باتری با تسمه‌های مخصوص خود روی شاسی آن نصب می‌شود، طوری که از نظر وزنی در مرکز قرار گیرد. در انتها باید رادیو کنترل روشن و فیش باتری به ماژول پاور وصل شود.

حال نوبت بستن شاخک‌های کوادکوپتر است؛ این مرحله در شکل 10 نشان داده شده است. دقت شود که هنوز ماژول GPS بسته نشده است. از شاخک‌های سمت جلوی دستگاه شروع شده و پیچ‌های آن‌ها از زیر بسته و محکم می‌شوند. البته باید سیم

در نهایت، کوادکوپتر، مطابق شکل 13، آماده تست می‌شود.

است. از طریق پورت میکرو یو اس بی فلایت کنترل، به کامپیوتر وصل، نرم افزار MP اجرا و مراحل زیر دنبال می شود:

Open MP → Connected → INITIAL SETUP → MANDATORY HARDWARE → FLIGHT MODES → select & adjust modes



Fig. 14 Connection of the flight control to the computer for setting of the flight modes

شکل 14 اتصال فلایت کنترل به کامپیوتر جهت تنظیم مدهای پرواز

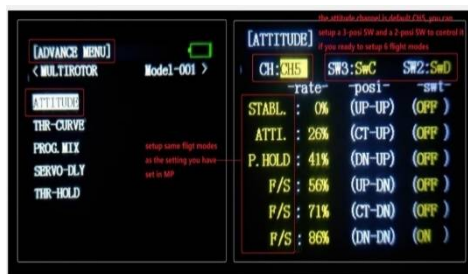


Fig. 15 Flight mode settings in radio control

شکل 15 تنظیمات مربوط به مدهای پروازی در رادیو کنترل

ردیف های فلایت مود از 1 تا 6 است و می توان در هر ردیف مود پرواز مورد نیاز را انتخاب و تنظیم کرد. از دو مورد Simple mode & Super simple mode یکی بسته به نیاز و راحتی استفاده، انتخاب می شود. معمولاً ردیف اول روی مود حفظ یا تثبیت تعادل و Super simple تنظیم می شود.

در Simple mode جهت های حرکتی پرنده صرفاً نسبت به جهت جلو پرنده تنظیم می شود، ولی در Super simple mode جهت های حرکتی پرنده با الگوریتم پیچیده تری و نسبت به محور آنتن فرستنده تنظیم می شود و کنترل و موقعیت یابی پرنده تحت مراقبت چشم کاربر در روز و خصوصاً شب بسیار بهتر انجام می شود. برای این کار، باید تنظیمات لازم در رادیو کنترل به صورت زیر انجام شود:

Turn On Radio Control → Press MODE twice → Enter ADVANCE MENU → Press PUSH → Enter ATTITUDE SETTING MENU (CH5 is default attitude control channel) → Choose 3PosiSW&2PosiSW to control attitude → Set FLIGHT MODE1 to STABILIZE in MP&RC → Turn SWT "On" by press by press 3PosiSW&2PosiSW key → setup PWM Value by turn DIAL key on RC (first Value is standard default)

تنظیمات مربوط به مدهای پروازی در رادیو کنترل در شکل 15 نشان داده شده است.

در این پژوهش، تست فرمان ها کوادکوپتر با لیورهای کنترل انجام شد و حفظ تعادل، چابکی، ارتباط رادیویی و انجام فرمان ها Pitch, Yaw, Roll Throttle کنترل گردید.



Fig. 12 Battery installation and radio control test

شکل 12 نصب باتری و تست رادیو کنترل



Fig. 13 Quadcopter with radio control for testing

شکل 13 کوادکوپتر به همراه رادیو کنترل آماده ی تست

### 2-3- روش تنظیم مود پرواز فلایت کنترل

فلایت فلایت کنترل MINI PIX دارای 20 مود یا الگوی پروازی است. 10 مورد از مدهای پرواز به طور منظم و مستمر برنامه های حفظ تعادل پرواز، خلبان اتوماتیک، تعقیب کاربر و ... را پشتیبانی می کنند. مود پروازی توسط سوئیچ مربوطه در فرستنده رادیویی و یا از طریق کامپیوتر زمینی به کمک نرم افزار مأموریت MP مدیریت و اجرا می شود. در برنامه مأموریت، شش مود پرواز به طور هم زمان قابل تنظیم و اجرا از طریق کانال های 7 و 8 فرستنده است.

فلایت کنترل MINI PIX و گیرنده حتماً باید به هم از طریق کابل مربوطه متصل و گیرنده روی حالت SBUS تنظیم باشد. مطابق شکل 14، در حالت مونتاژ کامل این اتصال برقرار

## 3- ارائه نتایج و بحث

سیستم حین تست فصل زیادی از 2/24 نداشته باشد. اما به طور هم‌زمان دو مشکل خود آشکار گردید، یکی مربوط به برنامه مبدل فرمت جی‌پی‌اس که بین خروجی ماژول جی‌پی‌اس و برنامه اصلی قرار می‌گرفت و دوم خطای دیتای خروجی ماژول جی‌پی‌اس که با خاموش روشن شدن دستگاه ایجاد می‌شد.

مشکل اول به صورت اختلاف متغیر بین مختصه‌های محاسبه‌شده و مقدار متغیر از 5000 متر تا 32000 متر در منطقه‌ای به وسعت 3600 کیلومتر مربع (شهر فیروزآباد) خود را نشان داد، که برای رفع آن به ناچار نقطه برداری گسترده جهت ترسیم تابع الگوی رفتاری انجام شد. خوشبختانه رفتار خطاها خطی بود و دو تابع ذیل پس از ترسیم گراف به دست آمد، که بین خروجی مبدل و برنامه اصلی قرار گرفت:

$$\begin{aligned} X_{new} &= 1.66642X - 398965 \\ Y_{new} &= 1.66481Y - 2059196 \end{aligned} \quad (2)$$

بدین صورت مشکل خطای سیستم، که در جدول 2 مشاهده شد، تا حدی رفع گردید. از طرفی، وجود خطا در سیستم ناوبری، می‌تواند به دلیل کیفیت و دقت پایین ماژول جی‌پی‌اس UBLOX7 باشد، که برای رفع آن باید از ماژول‌های با کیفیت و دقت بالا، البته با هزینه بسیار بالاتر، استفاده گردد. ضمن آنکه در صورتی که ماژول‌های با خروجی UTM جهت جایگزینی تهیه گردد، ضمن افزایش دقت، می‌توان با حذف برنامه مبدل، خروجی ماژول جی‌پی‌اس را مستقیماً به برنامه اصلی داد و بدین صورت مشکل خطای محاسباتی برنامه مبدل که در گستره زیاد خودنمایی می‌کند نیز برطرف می‌گردد؛ ضمن آنکه عملکرد برنامه اصلی بدون هیچ مشکل و عالی است.

برای تست کوادکوپتر، مود پروازی تثبیت تعادل کوادکوپتر فعال می‌گردد. پرنده مقدار کمی به هر دو سمت، جلو و عقب حرکت داده شد و بلافاصله لیور رها گردید (شکل 16).



Fig. 16 Recorded images of the quadcopter flight

شکل 16 تصاویر ثبت شده از پرواز کوادکوپتر

در این حال تنظیم تراز افقی خودکار به خوبی انجام شد و

در این قسمت، کوادکوپتر ساخته شده و دستگاه ناوبری نوآورانه آن مورد آزمایش قرار می‌گیرد. ابتدا مقادیر خطای دستگاه ناوبری محاسبه می‌شود. مقدار خطا برای حالتی که دستگاه پیوسته روشن است، محاسبه می‌گردد. نتایج آن در جدول 2 ارائه شده است.

در این حالت رابطه (1) به دست می‌آید. طبق اعداد و خطای حساب شده در جدول 1، مشخص گردید که خطا 2/24 است، که مقدار مناسبی به نظر می‌رسد.

$$\begin{aligned} \Delta X &= 2 \text{ m}, \Delta Y = 1 \text{ m}, \\ GPS_{error} &= \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2)} = 2.24 \text{ m} \end{aligned} \quad (1)$$

در آزمایش دیگری، سیستم ناوبری روشن می‌شود و صبر نموده تا نرم‌افزار آن به طور کامل اجرا شود. پنج نقطه هدف مشخص شده و به ترتیب با لیزر دستگاه مورد اصابت قرار می‌گیرد. پس از گذشت دو دقیقه، مختصات هر نقطه نمایش داده می‌شود؛ مختصه‌های X, Y از طریق پورت UART نیز قابل دریافت توسط کامپیوتر است (GPS test). مختصات هر نقطه توسط دستگاه جی‌پی‌اس با خطای زیر یک متر، به عنوان منبع مقایسه اندازه‌گیری (GPS source)، نیز ثبت و سپس خطاها محاسبه و در جدول 3 ثبت می‌گردد.

جدول 2 محاسبه خطای GPS دستگاه ناوبری به صورت روشن پیوسته

Table 2 GPS error of the navigation module in ON condition

Iteration	NAV System		X (m)	Y (m)
	Settlement coordinate			
	X (m)	Y (m)		
1	642569	3146545	$X_{min} = 642569$	$Y_{min} = 3146545$
2	642570	3146545		
3	642571	3146545		
4	642571	3146545	$X_{max} = 642571$	$Y_{max} = 3146546$
5	642571	3146546		

جدول 3 نقاط اندازه‌گیری شده دستگاه ناوبری در ناحیه R39

Table 3 Measured points of the navigation module in R39 zone

Point	Distance (m)	$X_t$ GPS Test	$Y_t$ GPS Test	$X_s$ GPS Source	$Y_s$ GPS Source	Error (m)
1	13/4	608327	3178593	608331	3178585	8/9
2	11/2	608322	3178578	608325	3178578	3
3	10/2	608329	3178570	608322	3178572	7/3
4	10/3	608332	3178570	608331	3178562	8/1
5	11/5	608323	3178551	608334	3178585	16/3

با مشاهده نتایج و مقایسه خطای ماژول جی‌پی‌اس از جدول 3، به مقدار 2/24 متر قطعاً توقع آن می‌رفت که خطای کل

**5- مراجع**

- [1] Z. Goraj, Design challenges associated with development of a new generation UAV, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 77, No. 5, pp. 361-368, 2005.
- [2] M. Dong, B.M. Chen, G. Cai, K. Peng, Development of a real-time on board and ground station software system for a UAV helicopter, *Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*, Vol. 4, No. 8, pp. 933-955, 2007.
- [3] R. Mahony, V. Kumar, P. Corke, Multirotor aerial vehicles: modeling, estimation, and control of quadrotor, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol. 19, No. 3, pp. 20-32, 2012.
- [4] P. Kumar, S. Harie, S. Kshore Rohy, V Kiruba, Quadcopter Video surveillance and control using computer, *International Journal of Electrical and Electronics Engineers IJEEE*, Vol. 7, No 1, pp. 340-346, 2015.
- [5] B. V. Deepak, S. Pritpal, A survey on design and development of an unmanned aerial vehicle (quadcopter), *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*, Vol. 4, No. 2, pp. 70-106, 2016.
- [6] H. Zakeri, F. Moghadas Nejad, A. Fahimifar, Rahbin: A quadcopter unmanned aerial vehicle based on a systematic image processing approach toward an automated asphalt pavement inspection, *Automation in Construction*, Vol. 72, pp. 211-235, 2016.
- [7] B. J. Emran, H. Najjaran, A review of quadrotor: An underactuated mechanical system, *Annual Reviews in Control*, Vol. 46, pp. 165-180, 2018.
- [8] F. Ahmad, P. Patil, Modeling and simulation of a quadcopter with altitude and attitude control, *Nonlinear Studies*, Vol. 25, No. 2, pp. 287-299, 2018.
- [9] A. S. Saeed, A. B. Younes, C. Cai, A survey of hybrid Unmanned Aerial Vehicles, *Progress in Aerospace Sciences*, Vol. 98, pp. 91-105, 2018.
- [10] A. Tahira, J. Bolingb, M.H. Haghbayana, H.T. Toivonenb, J. Plosilaa, Swarms of nmanaged Aerial Vehicles-A Survey, *Journal of Industrial Information Integration*, Vol. 16, pp. 100106, 2019.

تبادل آن حفظ گردید. این مود یکی از مودهای الزامی محسوب می شود و در تمام برنامه ها فعال خواهد ماند.

کوادکوپتر ارائه شده در این تحقیق با به کارگیری ابزارها و تجهیزات موجود در بازار ساخته شده است. قطعاً آنچه باید در بعد عملیاتی به کار گرفته شود نیازمند ارتقاهای زیادی مانند افزایش ارتفاع، برد و مداومت پروازی پرنده، کاهش صدا، قابلیت شارژ خورشیدی و بازیابی انرژی، استفاده از سرعت و جهت باد برای کاهش نیروی بالابری و تدابیر مقابله با جنگ الکترونیک است. یکی از مهم ترین این عوامل، صدای کوادکوپتر است که می توان با اندیشیدن تدابیری از میزان صدای ربات پرنده کاست. به عنوان مثال، به کارگیری موتورهای مناسب و اتصال آن ها در بهترین محل ممکن، بهینه سازی و طراحی مناسب ملخ ها باعث کاهش قابل توجه صدای کوادکوپتر می شود. در این تحقیق از موتورهای براسلس و ملخ های کامپوزیتی فیبر کربن استفاده شده است، که باعث می شود صدای ربات پرنده در حد قابل قبولی باشد. با وجود این، اندازه گیری کمی میزان صدا و کاهش مؤثر آن به عنوان ادامه این پژوهش پیشنهاد می گردد.

**4- نتیجه گیری**

در این تحقیق به طراحی و ساخت یک کوادکوپتر جهت افزایش قابل توجه احتمال کشف اهداف مستتر با در اختیار قرار دادن نمای بالای اهداف نقاط مختلف پرداخته شده است. پروسه ذکر شده توسط یک دستگاه کوادکوپتر مجهز به دوربین و فرستنده انجام می شود، که از ابتدا ساخته و آزمایش شد. یک ماژول ناوبری جدید، مجهز به مسافت یاب لیزری، برای محاسبه و ایجاد خروجی نقطه GPS از راه دور ساخته شد که در آن با فشردن یک دکمه مختصات یک نقطه مشخص از راه دور ایجاد شد و ضمن نمایش آن در نمایشگر به کامپیوتر منتقل گردید. کوادکوپتر ساخته شده نیز طبق یک مأموریت نقطه ای به مختصات اعلام شده حرکت و با دوربین خود از نمای بالا شکل ارسال کرد. بدین صورت جهت نقطه هدف، علاوه بر شکل روبرو که از طریق خط دید مستقیم وجود دارد، شکل دوم نیز هم زمان در اختیار کاربر قرار گرفت. در آخر تست عملی انجام شده و نتایج و خطاها محاسبه و ارائه گردیده است.