

Utilization of Fire-Extinguishing Balls in a Hypothetical System That Employs Drones to Aid in Fighting Wildfires

Niloufar Abolahrari *

Cornerstone College, Canada.

Ali Amiri

Shiraz university, Iran.

Vahideh Ranji

Fire Extinguisher Startup team

Abstract

This article explores the potential use of fire extinguishing balls in conjunction with drone and remote-sensing technology as a supplement to traditional firefighting methods. The proposed system involves three components: a scouting unmanned aircraft system (UAS) to detect fires and monitor wildfire risk, a communication UAS to facilitate communication between the scouting UAS and firefighting UAS, and a firefighting UAS that drops heat-activated, environmentally friendly fire extinguishing balls at designated locations. The system is currently being developed as part of a multi-institutional project. The article provides a general overview of the design and discusses experiments that have been conducted to evaluate the effectiveness of the fire extinguishing balls. The results indicate that while smaller-sized balls may not be useful for building fires, they can be effective in extinguishing short grass fires (a ball with the weight of 0.5 kg extinguished a 1-meter circle of short grass). As a result, the authors are focusing on wildfire fighting rather than building fires. The article also discusses the development of heavy payload drones (about 15 kg of load) and the progress of creating an apparatus that can carry fire-extinguishing balls and be attached to drones.

Keywords: drones; unmanned aircraft system (UAS); fire extinguishing balls; remote sensing; wildfires

Received: 14/February/2023

Accepted: 01/May/2023

ISSN: 2980-8936

استفاده از توپ‌های اطفاء حریق در یک سیستم فرضی که از پهپادها برای کمک در مبارزه با آتش‌سوزی استفاده می‌کند

نیلوفر ابوالاحراری *

کالج کورنرستون، دانشکده بین‌المللی مدیریت، ونکوور، کانادا.

علی امیری

گروه مدیریت، دانشگاه شیراز، ایران.

وحیده رنجی

تیم استارت آپ آتش‌نشان هوشمند

چکیده

این مقاله استفاده بالقوه از توپ‌های اطفاء حریق را به عنوان بخشی از یک سیستم پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌دهد که در آن فن‌آوری‌های پهپاد و سنجش از راه دور به عنوان مکملی برای روش‌های سنتی اطفاء حریق مورد استفاده قرار می‌گیرند. سیستم پیشنهادی شامل (۱) جستجوی سیستم هواپیمای بدون سرنشین (UAS) برای تشخیص آتش‌سوزی نقطه‌ای و نظارت بر خطر آتش‌سوزی جنگلی نزدیک به ساختمان، حصار و یا خدمه آتش‌نشانی از طریق سنجش‌ازدور، (۲) ارتباط UAS برای ایجاد و گسترش کانال ارتباطی بین پهپادهای جستجوگر و پهپادهای آتش‌نشانی و (۳) یک پهپاد آتش‌نشانی که به طور مستقل به ایستگاه‌های بین راه برای انداختن توپ‌های اطفاء حریق (سرکوب‌کننده‌های سازگار با محیط زیست که با گرما فعال می‌شوند) حرکت می‌کند. این مفهوم یک پروژه چندپهپادی فرارشته‌ای در حال توسعه است. دامنه این مقاله شامل تصویر کلی این طرح و آزمایش‌هایی است که تاکنون برای ارزیابی توپ‌های اطفاء حریق انجام شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که توپ‌های اطفاء حریق کوچک‌تر موجود در بازار جهانی و متصل به هواپیماهای بدون سرنشین ممکن است در کمک به آتش‌سوزی ساختمان‌ها مؤثر نباشند (مگر اینکه از قبل پنجره‌های باز در ساختمان‌ها وجود داشته باشد). برعکس، نتایج نشان می‌دهد که حتی توپ‌های اطفاء حریق کوچک‌تر نیز ممکن است در خاموش کردن آتش‌های کوتاه چمن مؤثر باشند (تقریباً توپ با اندازه ۰.۵ کیلوگرم، یک دایره ۱ متری چمن کوتاه را خاموش کرد). این یافته نویسنده‌گان را به سمت مبارزه با آتش‌سوزی هدایت کرد. این مقاله همچنین ساخت پهپادهای محموله سنگین (حدود ۱۵ کیلوگرم بار محموله) و پیشرفت توسعه دستگاه حامل توپ‌های اطفاء حریق قابل اتصال به هواپیماهای بدون سرنشین را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: پهپاد، پرنده‌های بدون سرنشین، گوی اطفاء حریق، آتش‌نشانی

مقدمه

نقش جنگل‌ها در طبیعت را می‌توان به عنوان پاک‌سازی آب، تثبیت خاک، چرخش مواد مغذی، کنترل آب و هوا، جذب دی اکسید کربن و تولید اکسیژن برشمرد. آن‌ها زیستگاه حیات وحش و بخش مهمی از ثروت اقتصادی کشور هستند (Yuan et al., 2015). با این حال، هر ساله میلیون‌ها هکتار از جنگل‌ها به دلیل آتش‌سوزی از بین می‌رود. آتش‌سوزی‌های جنگلی را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد. آتش‌سوزی‌های جنگلی و آتش‌سوزی‌های تجویز شده. آتش‌سوزی‌ها یا ناشی از اعمال تصادفی یا مخرب انسان هستند (تقریباً ۹۰٪ آتش‌سوزی‌های جنگلی در ایالات متحده (Causes, 2017)) یا توسط طبیعت (رعدوبرق و غیره) (حدود ۱۰٪ آتش‌سوزی‌های جنگلی در ایالات متحده (Causes, 2017)) به وجود می‌آیند. آن‌ها توسط مدیران جنگل برنامه‌ریزی نشده و تحت تنظیمات کنترل شده رخ نمی‌دهند (Causes, 2017) و خطرات شدیدی برای حیات وحش و جامعه به همراه دارند. بر اساس آمار مرکز ملی آتش‌نشانی بین‌سازمانی، از ۱ ژانویه تا ۳۰ نوامبر ۲۰۱۷، ۵۶۱۸۶ آتش‌سوزی جنگلی در ایالات متحده رخ داد که باعث از بین رفتن حدود ۹,۲ میلیون هکتار جنگل شد (National Interagency Fire Center. Year-to-Date Statistics, 2017).

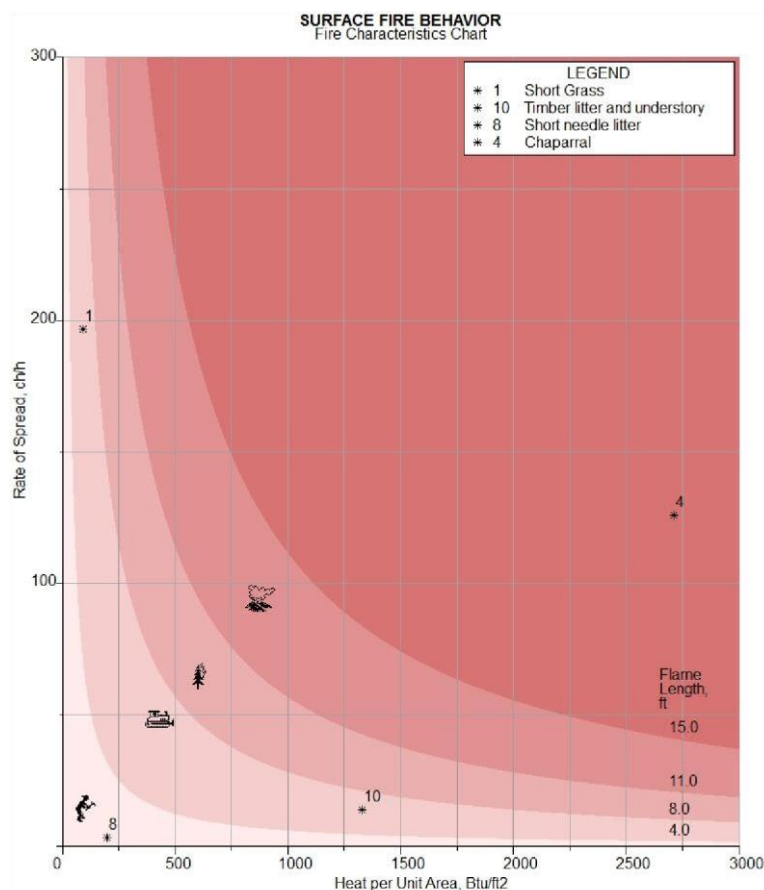
بر اساس تجزیه و تحلیل خطر آتش‌سوزی ۲۰۱۷، آتش‌سوزی‌های جنگلی در ۱۰ سال گذشته ۵,۱ میلیارد دلار خسارت به ایالات متحده وارد کرده است (Key Findings from the 2017 Verisk Wildfire Risk Analysis, 2017). علاوه بر این، ۴,۵ میلیون خانه در ایالات متحده در معرض خطر زیاد یا شدید آتش‌سوزی جنگلی شناسایی شده‌اند (Key Findings from the 2017 Verisk Wildfire Risk Analysis, 2017). شناسایی و سرکوب آتش‌سوزی‌های جنگلی به دلیل انتشار سریع همرفت و چرخه احتراق طولانی (Yuan et al., 2015)؛ در اسرع وقت بسیار مهم است. با این حال، مداخله زودهنگام معمولاً به دلیل زمینی که دسترسی به آن سخت است و تأثیر باد که توسط منابع مختلف سوخت موجود در جنگل‌ها تشدید می‌شود، امکان‌پذیر نیست. سوخت‌های آتش‌سوزی‌ها را می‌توان به عنوان شاخ و برگ زیر طبقه، شاخه‌های کوچک یا بزرگ، لایه‌های بالایی کف جنگل و بقایای بالای درختان فهرست کرد (Causes, 2017). سوخت‌ها را می‌توان به عنوان سوخت‌های سطحی در مقابل سوخت‌های هوایی طبقه‌بندی کرد. سوخت‌های سطحی شامل مواد قابل احتراق است که روی زمین یا بلافاصله بالاتر از آن، یعنی در ریشه‌ها و خاک‌های آلی قرار دارند. داف، بستر و رشد رویشی کم‌ارتفاع به عنوان سوخت‌های سطحی اصلی به حساب می‌آیند. داف از لایه‌هایی از مواد آلی نیمه تجزیه شده در کف جنگل تشکیل شده و تأثیر کمی بر سرعت گسترش آتش‌سوزی دارد، اما از یک نوع احتراق آهسته و در حال دود پشتیبانی می‌کند (Causes, 2017). بستر شامل برگ‌های افتاده، سوزن‌ها، شاخه‌ها، پوست، مخروط‌ها و شاخه‌های کوچکی است که به اندازه کافی پوسیده نشده‌اند. پوشش گیاهی کم‌ارتفاع شامل علف‌ها، بوته‌های کم‌ارتفاع، سرخس‌ها، نهال‌ها و سایر گیاهان کوچک است. از سوی دیگر، سوخت‌های هوایی شامل تمام مواد زنده و مرده است که در تماس مستقیم با زمین نیستند، مانند شاخه‌های درختان و برگ‌ها به دلیل روغن‌های فرار و رزین‌ها (Causes, 2017). علاوه بر سوخت‌های احتمالی موجود در جنگل‌ها، درک رفتار آتش‌سوزی نیز مهم است. چهار توصیف‌کننده رفتارهای آتش‌سوزی وجود دارد: سرعت گسترش (زنجیره/ساعت)، گرما در واحد سطح، طول شعله (پا) و شدت خط آتش (Andrews, 1982). نرخ گسترش، سرعت گسترش روبه‌جلو در سر یک آتش سطحی است، در حالی که گرما در واحد سطح، اندازه‌گیری گرمای آزاد شده توسط یک فوت مربع سوخت در منطقه شعله‌ور است. طول شعله از وسط منطقه شعله فعال تا موقعیت متوسط نوک شعله است، در حالی که شدت خط آتش مقدار گرمایی است که در هر ثانیه توسط یک برش با پهنای یک فوت از منطقه احتراق شعله‌ور آزاد می‌شود. دو توصیف‌گر اخیر مبنایی برای تفسیر اطفاء حریق هستند (Andrews, 1982).

(1982). جدول ۱ تفاسیر سرکوب را بر اساس طول شعله و شدت خط آتش، نشان می‌دهد (Andrews, 1982, 2011). گرما در واحد سطح برابر است با شدت خط آتش تقسیم بر سرعت پخش؛ بنابراین، برای یک شدت خط آتش معین، هرچه سرعت گسترش سریع‌تر باشد، گرمای کمتری به محل هدایت می‌شود. از سوی دیگر، حریق آهسته گرمای قابل توجهی را در محل متمرکز می‌کند (Rothermel & Deeming, 1980).

جدول ۱. تفسیر نوع آتش‌ها

طول شعله (فوت)	شدت خط آتش	تفسیر
<4	<100	آتش می‌تواند سر یا پهلوهایی افرادی که از ابزارهای دستی استفاده می‌کنند را مورد حمله قرار گیرد. هندلاین باید آتش را نگه دارد.
4-8	100-500	آتش سوزی برای حمله مستقیم به سر افرادی که از ابزارهای دستی استفاده می‌کنند بسیار شدید است. برای نگهداشتن آتش نمی‌توان به هندلاین اعتماد کرد. تجهیزاتی مانند گاوآهن، بولدوزر، پمپاژ و هواپیماهای عقب‌انداز می‌توانند مؤثر باشند.
8-11	500-1000	آتش سوزی ممکن است مشکلات جدی کنترلی مانند خاموش کردن، تاج‌گذاری و لکه-بینی ایجاد کند. تلاش کنترل در سر آتش بی‌اثر خواهد بود.
>11	>1000	تاج‌گذاری، لکه‌بینی و آتش سوزی‌های عمده محتمل است. تلاش‌های کنترلی در رأس آتش بی‌اثر است.

نمودار رفتار آتش سطحی در شکل ۱ این توصیفگرها را نشان می‌دهد. این نمودار با استفاده از برنامه‌های BehavePlus Version 5.0.5 و Fire Characteristics Chart v2.0 توسعه یافته است. چهار نوع پوشش گیاهی برای این مدل سطحی به عنوان تکرار مدل ارائه شده توسط اندروز و همکاران در نظر گرفته شد (Andrews, 2011). افسانه ارائه شده در شکل، مدل‌های پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. این مدل‌ها مناطق مختلف گرما را در واحد سطح در مقابل نمودار انتشار نشان می‌دهند؛ بنابراین، چمن کوتاه، بستر الوار، بستر سوزنی کوتاه و پوشش گیاهی چپار در طراحی آزمایشی مدل مفهومی گنجانده شده است. هدف اصلی تحقیق ما پیشنهاد سیستمی برای کمک به مبارزه با آتش سوزی به طور عمده برای این چهار مدل پوشش گیاهی است، به دلیل این واقعیت که آن‌ها همه مناطق مختلف را بر اساس نمودار نرخ پخش در برابر گرما در واحد سطح نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است. برای مثال. آتش سوزی‌های کوتاه چمن که در نمودار به عنوان شماره «۱» کدگذاری شده‌اند، شبیه رفتار آتش سوزی در سرعت گسترش زیاد (زنجیره/ساعت) و گرمای کم در واحد سطح (Btu/ft^2) است. به این ترتیب، این سیستم می‌تواند برای طیف گسترده‌ای از پوشش گیاهی و مناظر قابل استفاده باشد.



تصویر ۱. رفتار سطح آتش

طراحی مفهومی بر اساس توپ‌های اطفاء حریق است که از یک سیستم هواپیمای بدون سرنشین کوچک (UAS) برای کاهش خطرات ناشی از آتش‌سوزی برای کشتی‌های سرنشین‌دار، خدمه آتش‌نشانی و جامعه رها می‌شود. مفهوم فناوری سنجش از راه دور پیشنهادی را می‌توان برای نظارت، تشخیص و پیش‌بینی تمام دسته‌های جدول ۱ استفاده کرد، در حالی که توپ‌های اطفاء حریق می‌توانند برای دسته‌هایی تا ۸ فوت مؤثر باشند. این توپ‌ها اساساً می‌توانند در آتش‌سوزی‌های منطقه واسط شهری-وحشی به جای آتش‌سوزی‌های جنگلی در مقیاس بزرگ قابل استفاده باشند. توپ اطفاء حریق محصولی کروی شکل است که از فوم استایروفوم پر شده از پودرهای شیمیایی غیرسمی سازگار با محیط زیست است. سازندگان ادعا می‌کنند که توپ در حداقل ۳ ثانیه پس از تماس با آتش فعال شده، منفجر می‌شود و عوامل خاموش‌کننده را آزاد می‌کند (AFO Fire Extinguishing Ball, 2017; Elide Fire Extinguishing Ball, 2017). در حال حاضر دو برند اصلی توپ‌های اطفاء حریق در بازار وجود دارد: AFO و Elide. توپ‌های Elide در تایلند ساخته می‌شوند، در حالی که AFO در چین ساخته می‌شود. توپ Elide 0.2 ± 1.5 کیلوگرم است و قطر آن ۱۴۷ میلی‌متر است (AFO Fire Extinguishing Ball, 2017; Elide Fire Extinguishing Ball, 2017). توپ‌های AFO در سه اندازه مختلف موجود هستند. وزن کوچک‌ترین توپ حدود ۰٫۵ کیلوگرم، توپ متوسط حدود ۰٫۷ کیلوگرم و وزن بزرگ‌ترین توپ حدود ۱٫۳ کیلوگرم است. توپ Elide نسخه پیشگام ثبت شده با گواهی‌نامه‌های جهانی از جمله ISO 9001:2008 است. سازندگان هر دو برند ادعا می‌کنند که این توپ‌ها در برابر آتش‌هایی که شامل مواد سوختنی جامد (کلاس A)، مایعات و گازهای قابل اشتعال (کلاس B) و تجهیزات الکتریکی انرژی‌زا (کلاس C) می‌شوند، مؤثر هستند (AFO Fire Extinguishing Ball, 2017; Elide Fire Extinguishing Ball, 2017).

(Extinguishing Ball, 2017). با این حال، هیچ اطلاعاتی در رابطه با اثربخشی آتش‌سوزی‌های جنگلی توسط سازندگان ارائه نشده است؛ بنابراین، هدف از این بخش اولیه تحقیق، آزمایش استفاده از این توپ‌ها برای آتش‌سوزی‌ها و آتش‌سوزی‌های جنگلی بود. شکل ۲ توپ‌های اطفاء حریق Elide و AFO را نشان می‌دهد.



تصویر ۲. گوی‌های اطفاء حریق

پیشینه پژوهش

نیاز روزافزونی به استفاده از پهپادها با قابلیت‌های متنوع و کاربردهای مختلف غیرنظامی و نظامی از جمله مأموریت‌های جستجو و نجات، حفاظت از محیط زیست، ارسال پستی و تحویل، درگیری با سلاح‌های فعال، پهپادهای فضایی و دریایی و غیره وجود دارد (Hassanalain & Abdelkefi, 2017). این مقاله به طور خاص بر استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین در کاربردهای آتش‌نشانی تأکید می‌کند. زمان مهار آتش‌سوزی جنگل با توجه به بار آتش‌سوزی متشکل از خسارات اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی حیاتی است (Yuan et al., 2015). برای کاهش بار آتش‌سوزی، در حال حاضر UASها توسط چندین بخش آتش‌نشانی در سراسر کشور برای عملیات جستجو و نجات و برای آگاهی از موقعیت ارزیابی‌شده با نظارت (پیداکردن یک آتش‌سوزی بالقوه یا نقطه داغ) و تشخیص (به راه انداختن زنگ هشدار برای اطلاع اپراتورها و پرسنل مرتبط) استفاده می‌شوند. تشخیص (تعیین مکان و وسعت آتش‌سوزی و پیگیری پیشرفت آن) و پیش‌آگهی (پیش‌بینی آینده آتش‌سوزی) (Yuan et al., 2017) به لطف قابلیت‌های سنسورهای آزدور از طریق حسگرها و واحدهای پردازشی انجام می‌شود.

تحقیقات علمی در مورد استفاده از پهپادها از دیدگاه فنی و غیرفنی در دهه گذشته انجام شده است. جنبه غیرفنی عمدتاً مبتنی بر درک نگرش جامعه نسبت به هواپیماهای بدون سرنشین است. چندین مطالعه پیمایشی به این موضوع پرداختند (Clothier et al., 2015; Herron et al., 2014; MacSween, 2003; Reddy & DeLaurentis, 2011; Tam, 2016). یافته رایج از این مطالعات این است که درک عمومی از هواپیماهای بدون سرنشین به کاربرد آن بستگی دارد. کاربردهای آتش‌نشانی پهپادها به خوبی توسط مردم پشتیبانی می‌شود. یکی دیگر از جنبه‌های غیرفنی، امکان‌سنجی و توجیه اقتصادی است. به عنوان مثال، لازلو و همکاران، اثربخشی اقتصادی استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین در آتش‌سوزی جنگل‌ها را با پیشنهاد سه رویکرد مورد مطالعه قرار دادند (Laszlo et al., 2018). از سوی دیگر، جنبه فنی استفاده از پهپادها برای اطفاء حریق بر سنسورهای آزدور، مطالعات شبیه‌سازی و استفاده از انواع مهارکننده‌های آتش متمرکز شده است.

سنسورهای آزدور مبتنی بر UAS با دید کامپیوتری، جایگزین یا مکمل سریع، متحرک و کم‌هزینه برای فناوری‌های سنسور سنتی است. سیستم‌های زمینی، وسایل نقلیه هوایی سرنشین‌دار و سیستم‌های ماهواره‌ای. تصاویر بازایی شده از

ماهواره‌ها به دلیل وضوح زمانی و مکانی کم و ناکارآمدی در مناطق پرجمعیت برای ایجاد مأموریت‌های آتش‌نشانی به اندازه کافی مؤثر نیستند (Lee et al., 2017; Martínez-de Dios et al., 2011). تجهیزات اندازه‌گیری زمینی ممکن است از محدوده نظارت محدود رنج ببرند و هواپیماهای سرنشین دار معمولاً گران هستند (Yuan et al., 2015). نیاز آتش‌نشانان به اطلاعات مکرر و باکیفیت در رابطه با رفتار آتش (Casbeer et al., 2005) را می‌توان با UAS مستقل حتی در شرایط نور کم و دود زیاد با استفاده از حسگرهای تعبیه‌شده با هزینه کم به دست آورد. تکامل استفاده از UAS برای تصویربرداری آتش با استفاده از حسگرهای مادون قرمز (دوربین‌ها) برای تشخیص تشعشعات ساطع‌شده از آتش شروع شد (Laurenti & Neri, 1996). حسگرهای مادون قرمز برای نتایج مؤثر نیاز به دید مستقیم از منبع تابش دارند (Martínez-de Dios et al., 2011). از سوی دیگر از دوربین‌های بصری برای تشخیص دود ناشی از آتش در شرایط نور روز استفاده شده است. دوربین‌های بصری عمدتاً می‌توانند ارتفاع و زاویه شعله و موقعیت و عرض آتش را ارائه دهند. تشخیص حریق با دوربین‌های بصری عمدتاً بر اساس کنتراست، بافت و تحلیل حرکت است (Martínez-de Dios et al., 2011). یکی دیگر از روش‌های اولیه، استفاده از دستگاه‌های تشخیص نور و محدوده (LIDAR) برای شناسایی غلظت ذرات دود آتش است (Krider et al., 1980).

چندین مطالعه شبیه‌سازی وجود دارد که نتایج امیدوارکننده‌ای را برای گروه‌های UAS برای نظارت، تشخیص و پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های جنگلی نشان می‌دهد. به عنوان مثال، مرینو و همکاران، سیستمی از UAS ناهمگن را ارائه کردند که با دوربین‌های مادون قرمز و بصری ترکیب شده بود تا تعداد هشدارهای آتش کاذب را با استفاده از تکنیک‌های هم‌جوشی داده کاهش دهد (Merino et al., 2005; Merino et al., 2006). هاودن و هندتلاس الگوریتمی را توصیف کردند که کنترل موضعی و نه متمرکز چندین UAS را انجام می‌دهد که مناطق پیچیده آتش‌سوزی را بررسی می‌کند (Howden & Hendtlass, 2008). با در نظر گرفتن نتایج اجرای شبیه‌سازی، الگوریتم آن‌ها ثابت شده است که برای تطبیق با ازدست‌دادن یا اضافه‌کردن یک یا چند UAS قوی است. فام و همکاران (۲۰۱۷) همچنین یک الگوریتم غیرمتمرکز را برای تیمی از UASs توسعه داد تا مرزهای گسترش آتش را ردیابی کند (Pham et al., 2017). الگوریتم آن‌ها تضمین می‌کند که از برخورد بین UASها جلوگیری می‌شود. یوان و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل تشخیص آتش‌سوزی جنگل را با استفاده از تجزیه و تحلیل مبتنی بر رنگ و حرکت توسعه داد (Yuan et al., 2017). قابلیت اطمینان و دقت مدل آن‌ها در تشخیص آتش‌سوزی جنگل با دو آزمایش ثابت شد. یکی در فیلم آتش‌سوزی واقعی جنگل که توسط یک هواپیما ضبط شده است و دیگری در یک فیلم آتش‌سوزی داخلی در زمان واقعی که توسط یک UAS جمع‌آوری شده است. به طور مشابه، الکسیس و همکاران (۲۰۰۹) یک سیستم مستقل غیرمتمرکز از چندین UAS برای نظارت بر محیط آتش‌سوزی جنگل ارائه کردند (Alexis et al., 2009). Casbeer و همکاران، در یک مطالعه شبیه‌سازی، الگوریتم‌های برنامه‌ریزی مسیر را با استفاده از تصاویر مادون قرمز برای ردیابی محیط آتش‌سوزی‌های جنگلی شبیه‌سازی‌شده برای سناریوهای تک UAS و چند UAS توسعه دادند. الگوریتم‌های UASهای متعدد با توجه به محیط و مکان به آتش‌نشانان اجازه به‌روزرسانی‌های مکرر و دقیق‌تری را می‌دهند (Yuan et al., 2015). از سوی دیگر، لی و همکاران، پنج شبکه عصبی کانولوشنال عمیق را برای تشخیص آتش‌سوزی‌های جنگلی ارزیابی کردند (Lee et al., 2017). اکثر شبکه‌های کانولوشنال عمیق با تجزیه و تحلیل تصاویر هوایی در تشخیص آتش‌سوزی‌های جنگلی مؤثر بودند. دیوس و همکاران (۲۰۱۱) UAS را تحت چندین سناریو برای اندازه‌گیری منابع خطا در تشخیص آتش‌سوزی جنگل با دوربین‌های مادون قرمز و بصری آزمایش کردند. آزمایش‌های بلادرنگ آن‌ها نتایج امیدوارکننده‌ای را برای استفاده

از UAS نشان داد که داده‌های چندین دوربین را با روش‌های ترکیبی داده‌های آماری ترکیب می‌کرد (Martínez-de Dios et al., 2011).

اگرچه تحقیقات مداوم در مورد استفاده از UAS برای شناسایی آتش‌سوزی‌های جنگلی پیشرفت امیدوارکننده‌ای را نشان داده است، توسعه چنین سیستم‌هایی از جمله نرم‌افزار، سخت‌افزار و برنامه‌های کاربردی، به حداقل رسیده است (Yuan et al., 2015). علاوه بر این، آنچه که ما بر آن تمرکز می‌کنیم و متفاوت از کار محققان قبلی است، توسعه یک قابلیت سنجش‌ازدور است که نه تنها برای آتش‌سوزی نقطه‌ای، بلکه برای تشخیص خطر سرایت آتش به ساختمان، نرده‌ها، یا خدمه آتش‌نشانی هشدار می‌دهد؛ بنابراین، سنجش از راه دور برای شناسایی آتش‌سوزی‌های نقطه‌ای، ساختمان‌ها یا نرده‌ها، آتش‌نشان‌ها و رفتار آتش‌سوزی طراحی می‌شود و بر اساس آن خطر سرایت آتش به هر ساختمان، نرده‌ها یا آتش‌نشان را تشخیص می‌دهد و زنگ هشدار را با پارامترهای مکان دقیق ایجاد می‌کند. طراحی سیستم سنجش‌ازدور یک پروژه در حال انجام است، اما خارج از محدوده این مقاله خاص است. علاوه بر استفاده از پهپاد برای سنجش از راه دور، استفاده تجاری برای اطفاء حریق به دلیل محدودیت ظرفیت بار و زمان پرواز امکان‌پذیر نبوده و تحقیقات موجود در مورد استفاده از پهپاد برای مهار آتش بسیار محدود است.

اولین مجموعه از مطالعات، استفاده از آب را به عنوان سرکوب‌کننده آتش استفاده یا توصیه می‌کرد. یکی از این مطالعات توسط لاکهید مارتین با نمایش یک سیستم مشترک شامل یک پهپاد و یک هلیکوپتر انجام شد. نقاط داغ شناسایی شده با UAS توسط هلیکوپتر با پرتاب آب مورد حمله قرار گرفت (Rome, 2015). چندین شرکت دیگر مانند Aeronex, Nitrofirex, Singular Aircraft نیز بر روی توسعه سیستم‌های پهپادی کار می‌کنند که از آب برای سرکوب آتش‌سوزی‌های ساختمانی یا وحشی استفاده می‌کنند (Fire Fighting Drones by Singular Aircraft, 2019; Firefighting Drone Solutions by Aeronex Inc, 2019; UAV Solutions against Natural Disasters by Nitrofirex, 2019). فان و لیو (۲۰۰۸) سیستمی شامل کشتی هوایی، UAS و وسایل نقلیه زمینی بدون سرنشین (UGV) پیشنهاد کردند. کشتی هوایی که بالاترین سطح سلسله‌مراتب است، با استفاده از مدل‌های دینامیکی آتش‌سوزی، UAS و UGV، یک طرح مأموریت ایجاد می‌کند. دستوراتی را به UAS ها و UGV ها می‌فرستد تا برای سرکوب آتش به نقاطی خاص بروند. این سیستم در زندگی واقعی آزمایش نشده است، اما تست‌های شبیه‌سازی برنامه‌ریزی شده‌اند، ولی هنوز اجرا نشده‌اند (Phan & Liu, 2008). کوین و همکاران (۲۰۱۷) یک UAS ساخت که می‌تواند به طور مستقل وظایف جمع‌آوری آب، انتقال آن به نقطه آتش‌سوزی خاص و رهاکردن آب را روی آتش انجام دهد. این سیستم در آزمایش‌های خارج از منزل در شرایط منصفانه و باد با موفقیت آزمایش شد (Qin et al., 2016). با این حال، در نظر گرفتن استفاده در مقیاس وسیع از این دو مفهوم در آینده، با موضوع رهاکردن آب، تردیدهای زیادی را در مورد اینکه چگونه UAS ها ممکن است منابع آبی برای جمع‌آوری آب و واکنش سریع به آتش‌سوزی پیدا کنند، ایجاد می‌کند. اگرچه سیستم‌های آن‌ها در تئوری به‌خوبی کار می‌کنند، ما معتقدیم که آن‌ها عملی نخواهند بود مگر اینکه آتش در یک منطقه دورافتاده درست در کنار یک منبع بزرگ آب باشد. همچنین آسیب احتمالی آب به ساختمان‌ها قابل چشم‌پوشی نیست.

مطالعات اندکی وجود دارد که به غیر از آب، مهارکننده‌های آتش را در نظر گرفته باشد. در یک مطالعه شبیه‌سازی، کومار و همکاران؛ با یک مدل کنترلی برای چند پهپاد جهت تشخیص جبهه آتش و همچنین برای مبارزه با آتش با مایع مهارکننده، آتش بی‌حد و حصر ایجاد کرد (Kumar et al., 2011). آن‌ها مدل خود را با استفاده از ۱۰ UAS از طریق شبیه‌سازی آزمایش کردند. با این حال، سیستم آن‌ها در یک سناریوی واقعی آزمایش نشده است. همچنین، فرض مایع سرکوب‌کننده بی‌حد و حصر عملی نیست. به عنوان پروژه‌های طراحی در مقطع کارشناسی در

دانشگاه بین‌المللی فلوریدا (FIU)، یک تیم دانشجویی یک کوادکوپتر با مکانیزم پرتاب توپ طراحی کردند که می‌تواند یک واحد توپ اطفاء حریق را با استفاده از فنرهای فشرده شلیک کند (Beltran et al., 2013)، در حالی که تیم دیگری مکانیزم پنجه‌ای را طراحی کرد. برای انداختن یک واحد توپ اطفاء حریق (Remington et al., 2014). هیچ یک از تیم‌ها مکانیسم متصل به UAS را آزمایش نکردند. در مطالعه دیگری که در FIU انجام شد، یک طرح UAS و یک الگوریتم رهبر-پیرو برای مدل‌سازی استفاده از دسته‌ای از UAS که هم‌زمان توپ‌های اطفاء حریق را به آتش می‌اندازند، پیشنهاد شد (Marchant & Tosunoglu, 2016). از سوی دیگر، محققان دانشگاه نبراسکا-لینکلن با همکاری سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده، سیستمی را پیشنهاد کردند که در آن پهپادها تخم‌های اژدها را به اندازه توپ پینگ‌پنگ پرتاب می‌کنند. هدف آن‌ها از بین بردن سوخت‌های احتمالی قبل از نزدیک شدن به آتش‌سوزی است (Twidwell et al., 2016)؛ بنابراین، آن‌ها در واقع از گلوله‌های آتش برای کنترل آتش‌سوزی استفاده می‌کنند. به این ترتیب بار سوخت کاهش می‌یابد. در صورت وقوع آتش‌سوزی غیرعمدی؛ شدت آتش کم خواهد ماند که منجر به کاهش گسترش آتش، زمان بیشتر برای مداخله و بار کمتر آتش می‌شود (LeMieux, 2013). رویکرد ما در این پروژه تحقیقاتی مشابه سه مطالعه قبلی است که پرتاب توپ‌های اطفاء حریق را به جای رویکرد دوم برای شروع آتش‌های کنترل‌شده توصیه می‌کرد. به طور خاص، هدف از مطالعه ما استفاده از سه فناوری نوظهور به طور هم‌زمان است. پهپادها، سنجش‌ازدور و به اصطلاح توپ‌های اطفاء حریق برای مقابله با آتش‌سوزی‌های جنگلی. سیستم پیشنهادی شامل موارد زیر است: (۱) جستجوی UAS برای تشخیص آتش‌سوزی نقطه‌ای و نظارت بر خطر آتش‌سوزی جنگلی که به ساختمان، نرده‌ها یا حومه آتش‌نشانی از طریق سنجش‌ازدور نزدیک می‌شود، (۲) UAS ارتباطی برای ایجاد و گسترش کانال ارتباطی بین UAS و آتش‌سوزی و پهپادهای اطفاء حریق و (۳) پهپادهای آتش‌نشانی که به طور مستقل به ایستگاه‌های بین‌راهی سفر می‌کنند تا توپ‌های اطفاء حریق را رها کنند (ساخت-کننده‌های سازگار با محیط زیست و فعال‌شونده با گرما). همان‌طور که ذکر شد، توسعه این سیستم پیشنهادی یک پروژه تحقیقاتی چند نهادی و فرارشته‌ای در حال انجام است. این مقاله بخش اولیه تحقیق را نشان می‌دهد. آزمایش‌های کنترل‌شده برای بررسی اثربخشی و کارایی توپ‌های اطفاء حریق.

روش پیشنهادی

با هدف تعیین اثربخشی و کارایی واقعی توپ‌های اطفاء حریق برای آتش‌سوزی ساختمان‌ها و یا آتش‌سوزی‌های جنگلی، آزمایش‌های کنترل‌شده با همکاری بخش آتش‌نشانی محلی در تجارت، TX انجام شد. در بخش اول آزمایش‌ها، آتش‌های کلاس A و کلاس B توسط آتش‌نشانان در داخل یک سلول نمایش آتش 8×8 فوت، همان‌طور که در شکل ۱a،b نشان داده شده است، مشتعل شدند. آتش کلاس C به عنوان پیشنهاد آتش‌نشانی حذف شد. با توجه به این واقعیت که آتش‌های کلاس C بلافاصله به آتش‌های کلاس A تبدیل می‌شوند؛ کوچک‌ترین اندازه AFO که تقریباً ۵۰ کیلوگرم است به دلیل محدودیت بودجه مورد استفاده قرار گرفت. کارایی با متغیر پاسخ "زمان فعال‌سازی" اندازه‌گیری شد. زمان‌ها توسط دو ناظر ثبت شد تا میانگین‌ها را برای کاهش خطاهای جمع‌آوری داده‌ها در نظر بگیرند. در مجموع چهار آزمایش برای آتش‌سوزی کلاس A و چهار آزمایش برای آتش‌سوزی کلاس B انجام شد. با توجه به محدودیت زمانی و نیروی کار آتش‌نشانی، تنها دو تکرار برای شرایط آزمایشی قابل انجام بود. در نیمی از آزمایش‌ها، AFO مستقیماً در آتش پرتاب شد، در حالی که برای بقیه آزمایش‌ها در یک پایه دیواری قرار داشتند. جدول ۲ طرح آزمایشی را نشان می‌دهد.



تصویر ۳. کلاس A (سمت چپ) و کلاس B (سمت راست) در سطح و نوع آتش سوزی

جدول ۲. طرح آزمایشی مورد استفاده برای آزمایش توپ‌های اطفاء حریق.

کاربرد توپ‌های اطفاء حریق	کلاسه آتش
Wall Mount	Class A
Direct Throw	Class B
Wall Mount	Class A
Wall Mount	Class B
Wall Mount	Class B
Direct Throw	Class A
Direct Throw	Class A
Direct Throw	Class B

بخش دوم آزمایش‌ها بر آتش سوزی‌های جنگلی متمرکز بود. به طور خاص برای آتش سوزی‌های چمن کوتاه که در شکل ۱ با کد "۱" کدگذاری شده‌اند. همان‌طور که در بالا ذکر شد، آتش سوزی چمن کوتاه باعث سرعت بسیار بالای گسترش (زنجیره/ساعت) با گرمای کم در واحد سطح (Btu/ft^2) می‌شود. سه نوع پوشش گیاهی اصلی دیگر ارائه شده در شکل ۱ (بستر الواری، بستر سوزنی کوتاه و چاپارال) در این آزمایش‌ها گنجانده نشدند، اما در مطالعات بعدی برای تکمیل آزمایش طرح مفهومی مورد بررسی قرار خواهند گرفت. با نظارت مستقیم آتش‌نشانی محلی، آتش چمن کوتاه برای دو آزمایش آغاز شد. هنگامی که آتش چمن به قطر حدود یک متر رسید، توپ ۰٫۵ کیلو گرمی AFO توسط آتش‌نشانان به داخل آن رانده شد. شکل ۴ را برای آزمایش آتش چمن کوتاه ببینید. هر دو کارآزمایی در یک زمان از روز در بعدازظهر انجام شد تا شرایط دما و رطوبت برابر بین آزمایش‌ها تضمین شود. اگر توپ کپسول آتش‌نشانی منفجر می‌شد اما قادر به خاموش کردن آتش نبود و یا اگر منفجر نمی‌شد و آتش چمن کوتاه از منطقه‌ای به قطر تقریبی دو متر عبور می‌کرد، قرار بود آتش به روش‌های سنتی توسط آتش‌نشانان کنترل شود. این شرایط توسط آتش‌نشانی برای اطمینان از ایمنی آزمایش‌ها تعیین شده است. نتایج این آزمایش‌ها در بخش ۴ گزارش شده است.

یافته‌ها و نتایج

توپ AFO از نظر زمان برای فعال شدن برای هر دو طبقه‌بندی آتش کارآمد بود، اما زمانی که در یک پایه دیواری نگهداری می‌شد کارآمد نبود. به طور میانگین ۲۹۰٫۹ ثانیه طول کشید تا هنگام نصب روی دیوار منفجر شود. علاوه بر این، مهم نیست که مستقیماً پرتاب شود یا روی پایه دیواری نگه داشته شود. در هر صورت در خاموش کردن واقعی آتش ساختمان بی‌تأثیر بود. به محض انفجار آتش را خاموش می‌کند اما در چند ثانیه آتش دوباره شروع می‌شود؛

بنابراین، آتش‌نشانان مجبور بودند آتش را با وسایل سنتی خاموش کنند تا از تخریب کامل سلول نمایشی در هر اجرای آزمایشی جلوگیری کنند. آزمایش‌های بیشتری برای بررسی توپ اطفاء حریق Elide در همان تنظیمات آزمایشی برنامه‌ریزی شده است.

جدول زیر (جدول ۳) داده‌های جمع‌آوری شده در هر آزمایش را نشان می‌دهد. همان‌طور که گفته شد، داده‌های زمانی میانگین ثبت دو ناظر است.

جدول ۳. داده‌های تجربی

کلاس آتش	کاربرد گوی اطفاء	زمان فعال شدن	موفق/شکست
Class A	Wall Mount	250.8	Failure
Class B	Direct Throw	3.6	Failure
Class A	Wall Mount	360.5	Failure
Class B	Wall Mount	321.3	Failure
Class B	Wall Mount	230.9	Failure
Class A	Direct Throw	4.1	Failure
Class A	Direct Throw	3.8	Failure
Class B	Direct Throw	4.3	Failure

برخلاف آزمایش‌های آتش‌سوزی ساختمان، تیم تحقیقاتی نتایج امیدوارکننده‌ای را برای پرونده آتش‌سوزی در جنگل به دست آورد. تقریباً همان زمان طول کشید تا مدل AFO منفجر شود و آتش چمن کوتاه در هر دو آزمایش کاملاً خاموش شد. شکل ۴ آتش چمن کوتاه را قبل و بعد از انفجار نشان می‌دهد.



تصویر ۴. قبل و بعد انفجار گوی اطفاء در چمن کوتاه

آتش با استفاده از توپ اطفاء حریق به طور کامل خاموش شد. با توجه به این واقعیت که توپ مورد استفاده برای این آزمایش ارزان‌ترین و کوچک‌ترین نسخه توپ‌های اطفاء حریق موجود در بازار بود، ما معتقدیم که کمک به آتش‌نشانان در هنگام آتش‌سوزی با توپ‌های اطفاء حریق برای آینده امیدوارکننده به نظر می‌رسد. توپ ۰٫۵ کیلوگرمی در آزمایش‌های ما دایره‌ای به قطر ۱ متر را خاموش کرد، با این حال ادعا می‌شود که توپ‌های ۱٫۳ کیلوگرمی شعاع ۱٫۳ متری را خاموش می‌کنند.

پس از انجام آزمایش‌ها، در مجموع هشت سؤال از دو آتش‌نشان پرسیده شد تا بازخورد کارشناسان موضوع را دریافت کنند. هر دو آتش‌نشان به طور مستقیم در آزمایش‌ها شرکت کردند. سؤالات شامل سؤالات مربوط به آتش‌سوزی ساختمان و آتش‌سوزی جنگلی بود. پاسخ آن‌ها در ادامه نشان داده شده است.

گروهی متشکل از ۱۰ UAS را در نظر بگیرید که هر کدام ۱۰ توپ از ۱,۳ کیلوگرم اطفاء حریق را حمل می‌کند (هر کدام شعاع ۱,۳ متری را خاموش می‌کنند). اگر آن‌ها به صورت موازی پرواز کنند و هر یک از آن‌ها توپ‌ها را در یک خط مستقیم یکی یکی به طور مستقل رها کنند؛ که مساحت $۶۷۶ \text{ مترمربع} (= ۱,۳ * ۲ * ۱۰)$ در هر پرواز را تشکیل می‌دهد؛ اگر پهپادها را بتوان با روش‌های چابک بارگیری کرد، می‌توان از گسترش آتش‌سوزی به ساختمان‌ها یا جهت‌های بحرانی جلوگیری کرد، یا آتش‌سوزی‌های نقطه‌ای را که در طول آتش‌سوزی اصلی وحشی با این حجم ازدحام مشتعل می‌شوند، خاموش کرد. اگر اندازه ازدحام افزایش یابد و یا تعداد توپ‌ها در هر UAS افزایش یابد، اثربخشی سیستم را می‌توان به صورت تصاعدی افزایش داد. تیم تحقیقاتی به هیچ وجه مدعی خاموش کردن کامل آتش‌سوزی با وضعیت فعلی فن‌آوری UAS نیست. با این حال، مهم‌ترین هدف ما طراحی سیستمی برای کمک به آتش‌نشانان در طول آتش‌سوزی‌های جنگلی، به‌ویژه آن‌هایی که در مناطق وحشی-شهری هستند، است. سیستم مفهومی به شرح زیر است: (۱) گروهی از پهپادهای جاسوسی برای تشخیص آتش‌سوزی نقطه‌ای و نظارت بر خطر نزدیک‌شدن آتش‌سوزی به ساختمان، حصارها یا خدمه آتش‌نشانی از طریق سنجش‌ازدور، (۲) UAS ارتباطی برای ایجاد و گسترش کانال ارتباطی بین جستجوی پهپاد و پهپاد آتش‌نشانی و (۳) گروهی از پهپادهای آتش‌نشانی که به طور مستقل به ایستگاه‌های بین راه می‌روند و توپ‌های اطفاء حریق را رها می‌کنند؛ الگوریتمی بر روی محیط شبیه‌سازی توسعه و آزمایش خواهد شد. ورودی داده‌های حسگر بصری و مادون قرمز از S-UAS که با مدل‌های آتش‌سوزی مانند BehavePlus (Andrews, 2011) و FlamMap (Finney, 2006) ترکیب شده‌اند، برای پیش‌بینی پیش‌آگهی رفتار آتش‌سوزی استفاده خواهد شد. این سیستم در محیط شبیه‌سازی برای نرخ هشدار واقعی و به‌موقع برای پیش‌بینی گسترش آتش به سمت ساختمان/حصار یا آتش‌نشان آزمایش خواهد شد. این تیم تحقیقاتی در حال حاضر ساخت یک پهپاد جاسوسی و همچنین یک پهپاد آتش‌نشانی با ظرفیت حمل بار حدود ۱۵ کیلوگرم و زمان پرواز حدود ۲۵ دقیقه را تکمیل کرده است. علاوه بر این، مکانیزم قابل اتصال به پهپاد که می‌تواند توپ‌های اطفاء حریق را حمل کند تکمیل شده است. شکل ۵ پهپاد جاسوسی را نشان می‌دهد، در حالی که اجزای آن در جدول ۴ فهرست شده‌اند. جدول ۵ اجزای پهپاد آتش‌نشانی را نشان می‌دهد.



تصویر ۵. نمونه یک پهپاد

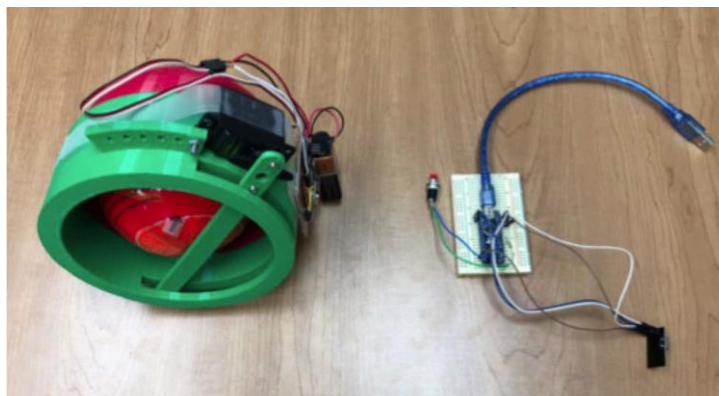
جدول ۴. جزئیات اجزای پهپاد

Component	Description
Frame	Composite Hexacopter frame 550 mm with integrated printed circuit board
Motors	2212-920 KV Brushless
ESCs	20 Amp 2-4S Lipo Compatible (OPTO)
Flight Controller	Pixracer
GPS	NEO-M8N & compass
Telemetry	2.4 GHz Wi-Fi Module
RC Transmitter	FS-i6S 2.4 GHz 10 ch transmitter & 6 ch receiver
Battery	2200 mAh 3S 20C Lipo
Propellers	10 × 4.5 SF Nylon Composite
Raspberry Pie	Raspberry Pi Zero Wireless (1 GHz Single-core CPU, 512 MB RAM)
Thermal Sensor	SUNKEE DS18B20 Temperature Sensor
Camera	Arducam 5 Megapixels 1080p Sensor OV5647 Mini Camera

جدول ۵. اجزای کنترل گوی اطفاء حریق (الحاق به پهپاد)

Component	Description
Frame	Tarot T18" 1270 mm octocopter foldable frame
Motors	Tarot 5008/340 KV MultiCopter Brushless TL96020
ESCs	YEP 60A (2-6S) SBEC Brushless
Flight Controller	PixHack V3
GPS	M8N
Telemetry	WiFi
RC Transmitter	Flysky FS-i6S 2.4 G 10 CH AFHDS 2A Transmitter With FS-iA10B Receiver
Battery	Multistar High Capacity 20,000 mAh 6S 10C Multi-Rotor Lipo Pack
Propellers	Tarot 1555
Raspberry Pie	Raspberry Pi Zero Wireless (1 GHz Single-core CPU, 512 MB RAM)

باتری می‌تواند جریان پیوسته ۲۰۰ آمپر ($A \times 10C_{20} =$) و حداکثر جریان ۴۰۰ آمپر ($A \times 20C_{20} =$) را تأمین کند. هر موتور می‌تواند ۲۵ آمپر ($A/8_{20} =$) را به طور مداوم بکشد. با توجه به تست‌های تراسست سازنده، هر موتور نیروی رانش ۳،۰۱ کیلوگرمی را با ۱۸۵۵ ملخ کربن، در ۲۲،۲ ولت، ۲۳،۱ آمپر ارائه می‌کند. به طور کلی، هشت موتور نیروی رانشی در حدود ۲۴ کیلوگرم را ارائه می‌دهند. با کم کردن وزن قاب، موتورهای ESC و سایر اجزای UAS، فضایی برای تقریباً ۱۵ کیلوگرم برای اضافه کردن توپ‌های اطفاء حریق و مکانیسم پرتاب توپ وجود دارد. این بدان معناست که UAS آتش‌نشانی می‌تواند تا ۱۰ توپ اطفاء حریق را در صورت نیاز حمل کند. مکانیزم رهاسازی توپ به عنوان یک سیستم مکترونیک قابل اتصال به پهپاد آتش‌نشانی طراحی و ساخته شد. این سیستم از قطعات الکترونیکی مانند میکروکنترلر، منبع تغذیه، فرستنده و گیرنده و موتور و همچنین مکانیزمی برای حمل و رهاسازی توپ و اتصالات آن به پهپاد آتش‌نشانی تشکیل شده است. شکل ۶ نمونه اولیه ساخته شده شامل مکانیزم رهاسازی توپ و اجزای مکترونیک متصل شده و همچنین دکه راه‌انداز از راه دور متصل به فرستنده سیگنال را نشان می‌دهد. این مکانیزم به پهپاد آتش‌نشانی متصل می‌شود تا آزمایش‌های آتی تحقیق را انجام دهد تا طرح مفهومی را با بستر چوبی، بستر سوزنی کوتاه و تنظیمات آزمایشی مبتنی بر پوشش گیاهی چاپارال آزمایش کند. با در نظر گرفتن مشاهدات از نمونه اولیه، مکانیسم دیگری که حداقل سه توپ را حمل می‌کند، طراحی و ساخته خواهد شد.



تصویر ۶. نمونه ساخته شده کنترل گوی بر روی پهپاد

بحث و نتیجه‌گیری

این مقاله نتایج آزمایش‌های کنترل‌شده را برای آزمایش کارایی توپ‌های اطفاء حریق برای اطفاء حریق نشان می‌دهد. این آزمایش‌ها به عنوان بخشی از یک پروژه تحقیقاتی در حال انجام است که هدف آن طراحی سیستمی از پهپادها با ترکیب سنجش از راه دور و توپ‌های اطفاء حریق برای کنترل آتش‌سوزی‌های وحشی است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که اگر انبوهی از پهپادها بتوانند به موقع، توپ‌های اطفاء حریق را به نقاط بهینه، در تعداد بهینه، رها کنند، ممکن است ابزاری مؤثر و کارآمد برای کمک به اطفاء حریق باشند. فناوری سنجش‌ازدور برای تعیین نقاط حمله مورد نیاز خواهد بود. یک تحقیق چندنهادی به منظور طراحی سیستمی ادامه دارد که در آن UAS‌ها آتش‌سوزی‌ای را که به ساختمان‌ها، حصارها یا آتش‌نشان‌ها نزدیک می‌شود؛ شناسایی کنند و توپ‌های اطفاء حریق را رها می‌کنند. کار آینده شامل توسعه سکوها از دحام برای اجزای سنجش از راه دور و اطفاء حریق، ارتقای مکانیسم ریزش و توسعه مدل‌های مسیر باد برای آزمایش روش‌های بهینه ریختن بر روی بستر الوار، بستر سوزنی کوتاه و مدل‌های پوشش گیاهی چاپار است. در این مطالعه محدودیت‌هایی وجود دارد که عمدتاً به دلیل در دسترس بودن منابع در زمان انجام آزمایش‌ها است. تیم تحقیقاتی از ارزان‌ترین مدل توپ اطفاء حریق در آزمایش‌ها استفاده کردند. این توپ‌ها تنها ۰٫۵ کیلوگرم وزن دارند، به این معنی که در مقایسه با مدل‌های ۱٫۳ کیلوگرمی، کمتر از نیمی از جرم پودر خاموش‌کننده را در خود جای می‌دهند. در مطالعات بیشتر، توپ‌های ۱٫۳ کیلوگرمی یا سفارشی‌تر را می‌توان برای آتش‌سوزی در ساختمان آزمایش کرد. علاوه بر این، فقط آتش‌سوزی در چمن کوتاه به دلیل زمان و بودجه موجود در شهر بازرگانی، TX و آتش‌نشانی آزمایش شد. همان‌طور که گفته شد، بسترهای چوبی، بستر سوزنی کوتاه و مدل‌های پوشش گیاهی چاپار باید آزمایش شوند تا به هر گونه تعمیم برای آتش‌سوزی‌های جنگلی دست یابند. علی‌رغم محدودیت‌ها، اولین یافته کلیدی از این مطالعه این است که توپ‌های کپسول آتش‌نشانی ۰٫۵ کیلوگرمی برای آتش‌سوزی‌های کلاس A و B مؤثر نیستند، اما توپ‌های با اندازه بزرگ‌تر باید دوباره آزمایش شوند. ثانیاً، حتی کوچک‌ترین اندازه توپ‌های اطفاء حریق از سازنده‌ای که کمترین قیمت را ارائه می‌دهد، برای خاموش کردن آتش کوتاه چمن که به مساحت یک متر می‌رسید، به طور مؤثر عمل کرد. این یک نتیجه امیدوارکننده برای مطالعات بیشتر است که برای توسعه سیستم پیشنهادی اطفاء حریق با کمک پهپاد انجام خواهد شد.

منابع

AFO Fire Extinguishing Ball. (2017). Retrieved 7 December 2017 from <http://afofireball.com>

- Alexis, K., Nikolakopoulos, G., Tzes, A., & Dritsas, L. (2009). Coordination of helicopter UAVs for aerial forest-fire surveillance. *Applications of intelligent control to engineering systems*, 169-193.
- Andrews, P. L. (1982). *Charts for interpreting wildland fire behavior characteristics* (Vol. 131). US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range
- Andrews, P. L. (2011). *How to generate and interpret fire characteristics charts for surface and crown fire behavior*. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Beltran, C., Freitas, M., & Moribe, A. (2013). Unmanned Aerial Vehicle with fire Extinguishing Grenade Release and Inspection System. *Florida international university*.
- Casbeer, D. W., Beard, R. W., McLain, T. W., Li, S.-M., & Mehra, R. K. (2005). Forest fire monitoring with multiple small UAVs. *Proceedings of the 2005, American Control Conference*, 2005.,
- Causes, W. (2017). *Fire and Aviation Management, National Park Service US Department of Interior*. Retrieved 6 December 2017 from <https://www.nps.gov/fire/wildland-fire/learning-center/fire-in-depth/wildfirecauses.cfm>
- Clothier, R. A., Greer, D. A., Greer, D. G., & Mehta, A. M. (2015). Risk perception and the public acceptance of drones. *Risk analysis*, 35(6), 1167-1183.
- Elide Fire Extinguishing Ball. (2017). Retrieved 7 December 2017 from <http://www.elidefire.com/products.htm>
- Finney, M. A. (2006). An overview of FlamMap fire modeling capabilities. *Fuels management—how to measure success: conference proceedings*,
- Fire Fighting Drones by Singular Aircraft. (2019). Retrieved 20 January 2019 from <http://singularaircraft.com/the-company>
- Firefighting Drone Solutions by Aeronex Inc. (2019). Retrieved 20 January 2019 from https://www.aeronex.com/eng/firefighting_drone
- Hassanalian, M., & Abdelkefi, A. (2017). Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace Sciences*, 91, 99-131.
- Herron, K. G., Smith, H. C. J., & Silva, C. L. (2014). US public perspectives on privacy, security, and unmanned aircraft systems. *Center for Risk and Crisis management, Center for Applied Social Research, Univ. Of Oklahoma*.
- Howden, D., & Hendtlass, T. (2008). Collective intelligence and bush fire spotting. *Proceedings of the 10th annual conference on Genetic and evolutionary computation*,
- Key Findings from the 2017 Verisk Wildfire Risk Analysis. (2017). Retrieved 2 December 2017 from https://www.verisk.com/insurance/visualize/key-findings-from-the-2017-verisk-wildfire-risk-analysis/?utm_source=Social&utm_medium=Twitter&utm_campaign=VeriskSM&utm_content=842017
- Krider, E., Noggle, R., Pifer, A., & Vance, D. (1980). Lightning direction-finding systems for forest fire detection. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 61(9), 980-986.
- Kumar, M., Cohen, K., & HomChaudhuri, B. (2011). Cooperative control of multiple uninhabited aerial vehicles for monitoring and fighting wildfires. *Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*, 8(1), 1-16.
- Laszlo, B., Agoston, R., & Xu, Q. (2018). Conceptual approach of measuring the professional and economic effectiveness of drone applications supporting forest fire management. *Procedia engineering*, 211, 8-17.
- Laurenti, A., & Neri, A. (1996). Remote sensing, communications and information technologies for vegetation fire emergencies. *Proceedings of TIEMEC*, 96, 28-31.
- Lee, W., Kim, S., Lee, Y.-T., Lee, H.-W., & Choi, M. (2017). Deep neural networks for wild fire detection with unmanned aerial vehicle. *2017 IEEE international conference on consumer electronics (ICCE)*,
- LeMieux, J. (2013). *Introduction to Unmanned Systems: Air, Ground, Sea and Space: Technologies and Commercial Applications*. Unmanned Vehicle University Press.

- MacSween, S. (2003). A public opinion survey-unmanned aerial vehicles for cargo, commercial, and passenger transportation. 2nd AIAA" Unmanned Unlimited" Conf. and Workshop & Exhibit,
- Marchant, W., & Tosunoglu, S. (2016). Rethinking wildfire suppression with swarm robotics. Proceedings of the 29th Florida Conference on Recent Advances in Robotics, FCRAR,
- Martínez-de Dios, J. R., Merino, L., Caballero, F., & Ollero, A. (2011). Automatic forest-fire measuring using ground stations and unmanned aerial systems. *Sensors*, 11(6), 6328-6353.
- Merino, L., Caballero, F., Martínez-de Dios, J., & Ollero, A. (2005). Cooperative fire detection using unmanned aerial vehicles. Proceedings of the 2005 IEEE international conference on robotics and automation,
- Merino, L., Caballero, F., Martínez-de Dios, J. R., Ferruz, J., & Ollero, A. (2006). A cooperative perception system for multiple UAVs: Application to automatic detection of forest fires. *Journal of Field Robotics*, 23(3-4), 165-184.
- National Interagency Fire Center. Year-to-Date Statistics. (2017). Retrieved 2 December 2017 from <https://www.nifc.gov/fireInfo/nfn.htm>
- Pham, H. X., La, H. M., Feil-Seifer, D., & Deans, M. (2017). A distributed control framework for a team of unmanned aerial vehicles for dynamic wildfire tracking. 2017 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS),
- Phan, C., & Liu, H. H. (2008). A cooperative UAV/UGV platform for wildfire detection and fighting. 2008 Asia Simulation Conference-7th International Conference on System Simulation and Scientific Computing,
- Qin, H., Cui, J., Li, J., Bi, Y., Lan, M., Shan, M., Liu, W., Wang, K., Lin, F., & Zhang, Y. (2016). Design and implementation of an unmanned air vehicle for autonomous firefighting missions. Proceedings of the IEEE International Conference on Control and Automation,
- Reddy, L. B., & DeLaurentis, D. (2016). Opinion survey to reduce uncertainty in public and stakeholder perception of unmanned aircraft. *Transportation Research Record*, 2600(1), 80-93.
- Remington, R., Cordero, R., March, L., & Villanueva, D. (2014). Multi-purpose aerial drone for bridge inspection and fire extinguishing. *Unpublished Thesis*. Florida International University. Retrieved April, 10, 2016.
- Rome, N. (2015). Lockheed martin conducts collaborative unmanned systems demonstration. *Unmanned KMAX helicopter, Stalker XE Small Unmanned Aircraft System (UAS), and UAS Traffic*, 25.
- Rothermel, R. C., & Deeming, J. E. (1980). *Measuring and interpreting fire behavior for correlation with fire effects*. Intermountain Forest and Range Experiment Station, US Department of
- Tam, A. (2011). Public perception of unmanned aerial vehicles.
- Twidwell, D., Allen, C. R., Detweiler, C., Higgins, J., Laney, C., & Elbaum, S. (2016). Smokey comes of age: unmanned aerial systems for fire management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(6), 333-339.
- UAV Solutions against Natural Disasters by Nitrofirex. (2019). Retrieved 20 January 2019 from <https://www.nitrofirex.com/solutions>
- Yuan, C., Liu, Z., & Zhang, Y. (2017). Aerial images-based forest fire detection for firefighting using optical remote sensing techniques and unmanned aerial vehicles. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 88, 635-654.
- Yuan, C., Zhang, Y., & Liu, Z. (2015). A survey on technologies for automatic forest fire monitoring, detection, and fighting using unmanned aerial vehicles and remote sensing techniques. *Canadian journal of forest research*, 45(7), 783-792.

استناد به این مقاله: ابوالاحراری، نیلوفر. (۱۴۰۲). استفاده از توپ‌های اطفاء حریق در یک سیستم فرضی که از پهپادها برای کمک در مبارزه با آتش‌سوزی استفاده می‌کند. فصلنامه پژوهش‌های نوین در شهر هوشمند، ۱(۳)، ۵۸-۷۳.



New Researches in The Smart City is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.