فصلنامه علوم و فنون نظامی
سال شانزدهم، شماره ۵۱، بهار ۱۳۹۹
صص ۴۶- ۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۱

بررسی نقش و جایگاه سکوهای پرنده بدون سرنشین و سیستم‌های اطلاعات مکانی در فرماندهی و کنترل از دیدگاه ژئوماتیک

امیرحسین شکری*[۱]
سعید صادقیان[۲]

چکیده

سکوهای پرنده بدون سرنشین به‌عنوان یکی از منابع تهیه اطلاعات در این سیستم‌های فرماندهی و کنترل، علاوه بر قابلیت تهیه محصولات سه‌بعدی دقیق، مزایای متعددی ازجمله کاهش زمان، هزینه‌ها و تجهیزات خاص و نیاز کمتر به افراد متخصص را نسبت به سایر روش‌ها دارا هستند. در این مقاله به ارزیابی قابلیت‌های نوین سکوهای پرنده بدون سرنشین، آنالیز و تلفیق اطلاعات این سنجنده‌های قابل‌نصب بر این وسایل و استفاده از این داده در سیستم‌های اطلاعات مکانی برای کاربردهای نظامی و دفاعی پرداخته می‌شود. برای این منظور بررسی‌ها بر روی تصاویر اخذشده توسط سکوی پرنده ایبی‌پلاس با استفاده از سنجنده CanonIXUS127HS در منطقه‌ای نیمه‌شهری، توسط نرم‌افزار Pix4dmapper صورت گرفته است. با بهره‌گیری از گیرنده سامانه ماهواره‌ای ناوبری جهانی و واحد اندازه‌گیری اینرشیال المان‌های توجیه خارجی تصاویر اندازه‌گیری و به‌منظور اثبات دقت هندسی تصاویر مجموعاً از ۱۹ نقطه کنترل زمینی در منطقه به‌عنوان نقاط چک استفاده و مقادیر خطای باقیمانده هر یک از آن‌ها محاسبه گردید. نتایج، میانگین خطای مؤلفه‌های مسطحاتی به ترتیب، ۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۴- متر و در مؤلفه ارتفاعی، ۰/۰۰۹ متر را نشان داد که این نتیجه، بیانگر دقت بالای محصولات سه‌بعدی تهیه‌شده با استفاده از این سکوها بدون استفاده از نقاط کنترل زمینی است.

واژه‌های کلیدی:

سامانه فرماندهی و کنترل (C4I)، سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)، سکوهای پرنده بدون سرنشین، تلفیق اطلاعات

---

۱. آموزشکده نقشه‌برداری، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران، ایران
۲. آموزشکده نقشه‌برداری، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران، ایران
* نویسنده مسئول: ahshokri@mihanmail.ir

مقدمه

فرماندهی و کنترل عبارت است از ترتیب دادن تسهیلات، وسایل ، نفرات و روش‌هایی که برای دریافت کردن، پرورش دادن و توزیع اطلاعاتی که موردنیاز تصمیم‌گیرندگان، برای طرح‌ریزی هدایت و کنترل عملیات است به کار می‌رود (کالینز، ۱۳۷۰). اعمال اختیار و هدایت از سوی یک فرمانده مشخص بر نیروهای مأمور برای تحقق مأموریت. به‌عبارت‌دیگر کارکردهای مربوط به ترتیب بندی نیرو، تجهیزات، ارتباطات، تأسیسات و راه‌کارهای به کار گرفته‌شده توسط یک فرمانده در طرح‌ریزی، هدایت، هماهنگ‌سازی و کنترل نیروها و عملیات جهت تحقق کامل مأموریت (علمایی، ۱۳۸۴). در زمان فعلی تولید، تبدیل، انتقال اطلاعات و مدیریت آن امری مهم شمرده شده که بسیار دشوار است. به‌طوری‌که در جنگ خلیج‌فارس فن‌آوری نیروها در مقابل هم بوده است. لذا در مواقعی نیاز به جنگیدن رودررو نیست مبارزه با استفاده از فن‌آوری مبارزه صورت می‌گیرد و نبرد در زمان کوتاه به دلیل وجود فن‌آوری اطلاعات به پایان می‌رسد (نامی و همکاران، ۱۳۸۷). جان ام. کالینز فرماندهی و کنترل را فراهم نمودن کارکنان، تجهیزات، تسهیلات، روش‌ها و شیوه‌های لازم برای جمع‌آوری، پردازش و توزیع اطلاعات برای تصمیم‌گیرندگان به‌منظور طرح‌ریزی، برنامه‌ریزی، هدایت عملیات و اعمال کنترل و نظارت می‌داند. استفاده پیوسته از اقدامات امنیتی، فریب نظامی، عملیات روانی، جنگ الکترونیک ویران‌سازی عادی با پشتیبانی متقابل ازنظر اطلاعاتی را برای محروم کردن دشمن از اطلاعات، تحت تأثیر قرار دادن دشمن، کاهش یا انهدام امکانات فرماندهی و کنترل دشمن، تقویت امکانات فرماندهی و کنترل دولت‌های دوست در برابر چنین اقداماتی از سوی دشمن، را نیز از وظایف فرماندهی و کنترل می‌دانند (چگینی، ۱۳۸۲). به‌طورکلی کارکردهای اصلی در فرماندهی و کنترل به شرح زیر می‌باشند:

- جمع‌آوری و پردازش اطلاعات محیطی
- برقراری و حفظ ارتباط بین اعضای سیستم فرماندهی
- طرح‌ریزی، سازمان‌دهی، هماهنگی و هدایت عملیات
- پشتیبانی همه‌جانبه از نیروها و تداوم آن در تمام مراحل عملیات
- فرماندهی، کنترل و نظارت بر نیروها در صحنه عملیات
- خنثی‌سازی اقدامات دشمن با استفاده از عملیات فریب، عملیات روانی، جنگ الکترونیک و غیره

نقش و اهمیت سکوهای پرنده بدون سرنشین در امور دفاعی و نظامی بر هیچ‌کس پوشیده نیست. اهمیت موضوع آن‌قدر زیاد است که اغلب کشورها سرمایه‌گذاری‌های زیادی در این زمینه انجام داده‌اند. بیشترین سرمایه‌گذاری در جهان درزمینهٔ ساخت و تجهیز سکوهای پرنده بدون سرنشین را وزارت دفاع ایالات‌متحده آمریکا انجام داده است، به‌طوری‌که بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۵ حدود سه میلیارد دلار هزینه برای طراحی و ساخت و تجهیز سکوهای پرنده بدون سرنشین هزینه کرده است. حادثه ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱ باعث شد تا دولت آمریکا بودجه بیشتری را به طراحی و ساخت و تجهیز سکوهای پرنده بدون سرنشین اختصاص دهد. بر اساس آخرین برآوردها ارزش این صنعت در سال ۲۰۲۰، بالغبر ۱۲۷ میلیارد دلار خواهد شد (پهپاد-ویکی پدیا دانشنامه آزاد، ۲۰۱۹). امروزه نقش تصاویر سکوهای پرنده بدون سرنشین و استفاده از این تصاویر در فرماندهی و کنترل بسیار مهم است. هر چه دامنه این فعالیت‌ها گسترده‌تر باشد لزوم استفاده از این داده‌ها حیاتی‌تر می‌شود. از نگاهی دیگر نقش تصاویر سکوهای پرنده بدون سرنشین و سیستم‌های اطلاعات مکانی در طراحی و تصمیم‌گیری فرماندهان نظامی، با فن‌آوری قسمت‌های مختلف کنترل و فرماندهی بسیار نزدیک است. سکوهای پرنده بدون سرنشین از این حیث مهم و راهبردی به‌حساب می‌آیند که نیاز به اعزام نیرو به پشت خطوط دشمن نیست و تا زمانی که سکوهای پرنده بدون سرنشین منهدم نشده است، بدون تلفات انسانی می‌توان از آن برای مصارف مختلف استفاده کرد.

سؤالات اصلی پژوهش حاضر، این است که سکوهای پرنده بدون سرنشین و سامانه‌های اطلاعات مکانی تا چه میزان به بهبود و افزایش کارایی سیستم فرماندهی و کنترل (C4I) کمک می‌کند؟ آیا تولید داده‌های مکانی دقیق از مناطق عملیاتی دشمن (مناطق دور از دسترس) وجود دارد؟ آیا داده‌های مکانی تولید با استفاده از سکوهای پرنده بدون سرنشین دارای دقت کافی برای مقاصد نظامی موردنیاز است؟ و همچنین فرضیه‌های اصلی این پژوهش عبارت است از، استفاده و به‌کارگیری مناسب از سکوهای پرنده بدون سرنشین به همراه استفاده از سنجنده‌های مناسب به‌منظور اخذ سریع اطلاعات دقیق و قابل‌اعتماد و پردازش این اطلاعات در سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) موجب بهبود هرچه بیشتر کارایی سیستم فرماندهی و کنترل (C4I) می‌گردد. و فرضیه‌های فرعی به ترتیب، به‌کارگیری مؤثر از اطلاعات اخذشده از سکوهای پرنده بدون سرنشین موجب توانمندسازی هرچه بیشتر یگان‌های عملیاتی می‌شود. بهره‌برداری نامناسب از سکوهای پرنده بدون سرنشین و سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) باعث اختلال در مأموریت‌های عملیاتی می‌گردد.

مبانی نظری و پیشینه‌های پژوهش

مبانی نظری

در حال حاضر با پیشرفت‌های صورت گرفته در سنجنده های تصویربرداری رقومی و سامانه‌های تعیین موقعیت، دوربین‌های هوایی آنالوگ جای خود را به دوربین‌های هوایی رقومی و اسکنرهای لیزری مجهز به سامانه‌های ناوبری و تعیین موقعیت (GPS/IMU) داده‌اند. همچنین در سال‌های اخیر، سکوهای بدون سرنشین با دوربین‌های رقومی غیر متریک نصب‌شده در آن‌ها، سامانه‌های فتوگرامتری پهپاد را پیش روی قرار داده‌اند. این عوامل باعث شده است که علیرغم قابلیت‌های رو به رشد سنجش‌ازدور، روش فتوگرامتری مبتنی بر سکوهای پرنده بدون سرنشین در حال حاضر نه‌تنها نقش خود را در امر تهیه نقشه حفظ نماید بلکه توجه به آن مخصوصاً در امور نظامی افزایش یابد (کازرانی و همکاران، ۱۳۹۵). بسیاری از افراد به کار بردن واژه سکوی بدون سرنشین را به‌جای پهپاد ترجیح می‌دهند چراکه سکوهای پرنده بدون سرنشین بخشی از سیستم‌هایی هستند که از موارد زیر تشکیل شده‌اند:

۱. یک یا دو سکوی پرنده بدون سرنشین برای مأموریت‌های تجسس ۲. ایستگاه‌های کنترل زمینی که به‌عنوان مرکز فرماندهی سکوهای پرنده بدون سرنشین به شمار می‌روند و وظیفه کنترل سکوهای پرنده بدون سرنشین و دریافت اطلاعات از حس‌گرهای آن‌ها را بر عهده‌دارند. ۳. ارتباط رادیویی که بین سکوهای پرنده بدون سرنشین و مرکز کنترل زمینی برقرار می‌شود.

بر همین اساس سازمان اداره هوانوردی فدرال آمریکا ، لغت (UAS) را برای خطاب قرار دادن این سکوهای به کار می‌برد که شامل تمامی وسایل و ابزاری است که در کنار آن‌ها به برقراری ارتباط با ایستگاه‌های زمینی کمک می‌کند. امکان نصب سنجنده مختلف بر روی سکوهای پرنده بدون سرنشین جهت مقاصد مختلف، موجب شده تا پیش از گذشته به این سکوها توجه شود. اطلاعات اخذشده از این سکوها پس پردازش‌های اولیه به سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) وارد می‌شوند و با بهره‌گیری از قابلیت‌های بی‌شمار این سامانه‌ها اطلاعات موردنیاز برای مقاصد مختلف تهیه و ارائه می‌شود.

پیشینه‌های پژوهش

تاکنون تحقیقات گسترده‌ای درزمینه استفاده از سکوهای پرنده بدون سرنشین و سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) در فرماندهی و کنترل (C4I) صورت گرفته است. در ادامه برخی از پژوهش‌های داخلی و خارجی پیرامون این موضوع آورده شده است:

رضایی (۱۳۸۷)، در مقاله‌ای از سیستم اطلاعات مکانی به‌عنوان ابزاری برای دریافت، نگهداری، بازیابی، به هنگام‌سازی، پردازش، تجزیه‌وتحلیل، مدل‌سازی و نمایش داده‌های مکانی گوناگون یک ابزار عالی تصمیم‌گیری برای فرماندهان نظامی در عملیات‌ها معرفی کرده است. وی در تحقیق خود به مروری اجمالی بـر به‌کارگیری سیستم‌های اطلاعات مکانی در کاربردهای نظامی پرداخته است. صمدزادگان و همکار (۱۳۹۱)، در پژوهشی یک معماری تعامل‌پذیر، انعطاف‌پذیر و مقیاس‌پذیر برای سامانه‌های مدیریت کنترل و فرماندهی ارائه می‌کنند. بدین منظور با بررسی و ارزیابی زیرساخت موجود در سامانه‌های اطلاعاتی دفاعی متشکل از اجزای مستقل و جدا از هم، یک معماری یکپارچه برای پوشش نقاط ضعف این زیرساخت ارائه داده‌اند. مدیری و همکاران (۱۳۹۲)، طی تحقیقی به بررسی اهمیت و جایگاه سیستم‌های اطلاعات مکانی در توسعه فرماندهی و کنترل با روش اسنادی و کتابخانه‌ای پرداخته‌اند. آن‌ها استفاده از فناوری‌های نوین مانند سیستم‌های اطلاعات مکانی همراه (Mobile GIS) و سیستم‌های اطلاعات مکانی تحت وب (Web GIS) به‌منظور مکان‌یابی بهترین مکان‌ها با کارکردهای مختلف پرداخته‌اند. اسدی فرد (۱۳۹۴)، در تحقیق خود به بررسی و به‌کارگیری داده‌های تصویری و پایش اطلاعاتی فن‌آوری پهپاد، نقش مؤثری در ایجـاد اشرافیت اطلاعاتی و امنیت مناطق مرزی را داشته و به‌طوری‌که نقاط جرم و حضور نیروهای دشمن و عناصر ضدانقلاب را نمایانگر سازد. وی از پهپاد به‌عنوان ابزاری بسیار مهمی در پشتیبانی از یگان‌های عملیات مرزبانی نام برده است. اثنی عشری (۱۳۹۶)، در پایان‌نامه خود به ارزیابی و امکان استفاده از پهپاد به‌منظور تهیه نقشه‌های بزرگ‌مقیاس پرداخته است. نتایج تحقیق وی نشان دهنده پتانسیل‌های بالای سکوهای پرنده بدون سرنشین در کاربردهای نظامی است. فلمینگ و همکاران (۲۰۰۹)، طی تحقیقی به بررسی کاربردهای نظامی سیستم اطلاعات مکانی (GIS) در مناطق ساحلی آمریکا پرداخته‌اند. نتایج حاصل از این تحقیق همراه با روش‌های توسعه پایگاه داده‌های جنگی عظیم در مقیاس بزرگ، به آژانس ملی اطلاعات جغرافیایی در تجزیه‌وتحلیل جنگ‌های ساحلی، الگوسازی و الزامات تولید نقشه برای سازمان‌های نظامی آمریکا کمک خواهد کرد. هوارد (۲۰۱۳)، در مقاله خود به ارزیابی پتانسیل‌ها و جایگاه پرنده هدایت‌پذیر از دور (پهپاد) در امور فرماندهی و کنترل پرداخته است. نتایج تحقیق وی نشان دهنده قابلیت‌های بسیار زیاد پهپاد و استفاده از سنجنده‌های گوناگون به‌منظور استفاده در کاربردهای مختلف نظامی و عملیاتی است. بایرامو و همکاران (۲۰۱۹)، در پژوهش خود به کاربردهای سکوهای پرنده بدون سرنشین برای مقاصد نظامی و راه‌حل‌های بهبود سامانه اطلاعات مکانی

(GIS) پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نمایانگر پتانسیل‌های بالای سکوهای پرنده بدون سرنشین برای مقاصد تهیه نقشه ارتوفتو از زمین به‌منظور تهیه مدل‌های سه‌بعدی با جزئیات بالا را نشان می‌دهد.

با توجه به سوابق ارائه‌شده در خصوص تحقیقات و پروژه‌های قبلی، به نظر می‌رسد تاکنون تحقیقات محدودی درزمینه نقش و جایگاه سکوهای پرنده بدون سرنشین و سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) در فرماندهی و کنترل (C4I) از دیدگاه مهندسی ژئوماتیک صورت گرفته است. حال با این تفاسیر، در جهت پیاده‌سازی و دست‌یابی به این مهم برخی از مهم‌ترین کاربردهای این سیستم‌ها مورد ارزیابی قرارگرفته می‌شوند.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر ازنظر نوع هدف، کاربردی است و ازنظر نحوه گردآوری داده‌ها، توصیفی و مکانی است. طرح اصلی تحقیق با عنوان "بررسی نقش و جایگاه سکوهای پرنده بدون سرنشین و سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) در فرماندهی و کنترل (C4I) از دیدگاه ژئوماتیک" آغاز شده است. به‌منظور بررسی این موضوع، مطالعات دقیق با استفاده از منابع کتابخانه‌ای متعدد داخلی و خارجی صورت گرفته است و برای گردآوری اطلاعات از منابع کتابخانه‌ای (مقالات، گزارش‌ها و کتاب‌های موردنیاز) و نیز منابع اینترنتی و دیدگاه‌های صاحب‌نظران دانشگاه‌ها و مراکز علمی و تحقیقاتی کشور و جهان بهره گرفته‌شده است. با توجه به اینکه سکوهای پرنده بدون سرنشین و سیستم‌های اطلاعات مکانی دارای کاربردهای بی‌شماری در امور نظامی و سیستم‌های فرماندهی می‌باشند، لذا در این مقاله برخی از مهم‌ترین و به‌روزترین کاربردهای این دو سیستم در امور نظامی و سیستم‌های فرماندهی و کنترل آورده شده است. در شکل (۱) مدل مفهومی تحقیق نشان داده شده است.

شکل (۱) مدل مفهومی تحقیق

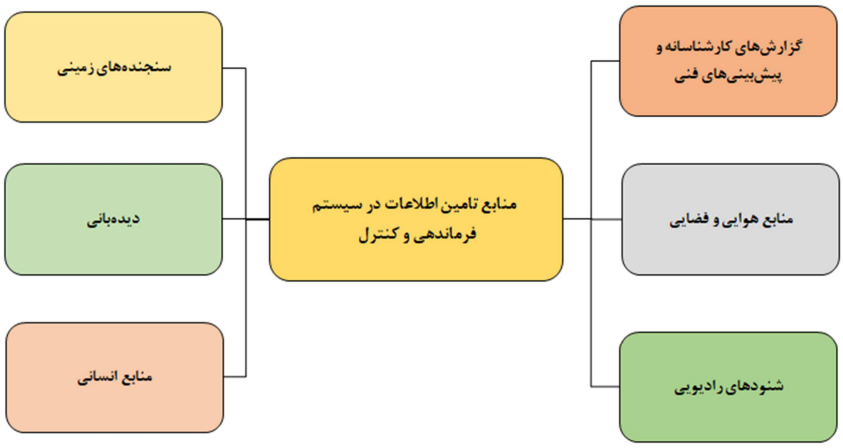
محدوده و محدودیت‌های پژوهش

ازآنجاکه سنجنده‌های بسیار زیادی قابلیت نصب و استفاده بر روی سکوهای پرنده بدون سرنشین را دارا می‌باشند، ارزیابی و بررسی هر یک از آن‌ها فراتر از حیطه این پژوهش است. همچنین تلفیق و استفاده از داده‌های سنجنده‌های بدون سرنشین، پردازش و تجزیه‌وتحلیل این داده‌ها در سیستم‌های اطلاعات مکانی دربرگیرنده طیف وسیعی از مطالب است که از حیطه این پژوهش خارج است، لذا مروری مختصر بر روی برخی از آن‌ها خواهیم داشت.

منابع اطلاعات در سیستم فرماندهی و کنترل (C4I)

منابع تأمین اطلاعات موردنیاز یک سیستم فرماندهی و کنترل، یکی از بخش‌های اساسی این سیستم جهت تصمیم‌گیری و پشتیبانی فنی است. به‌طورکلی منابع اساسی تأمین اطلاعات

موردنیاز یک سیستم فرماندهی و کنترل را می‌توان به بخش‌های ذیل تقسیم‌بندی کرد (شکل ۲).



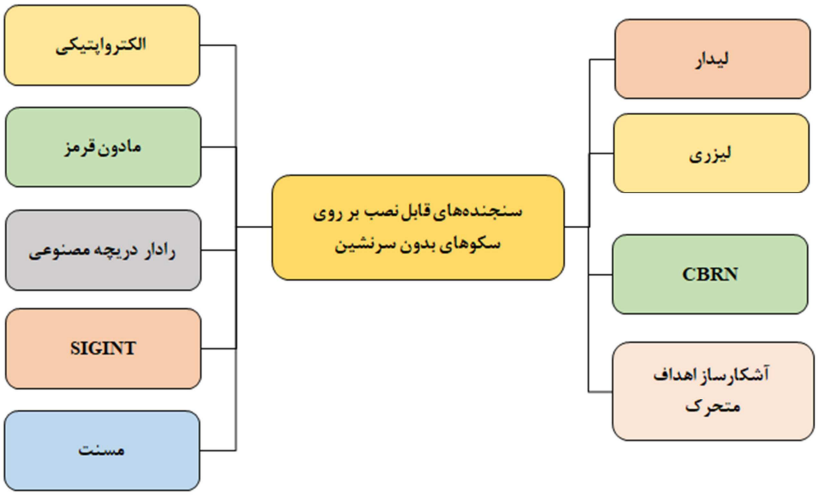
شکل (۲) منابع اطلاعات در سیستم فرماندهی و کنترل (C4I)

از میان منابع فوق تنها منابع فضایی و هوایی در حیطه این مقاله می‌باشند. لذا از توضیح بیشتر در رابطه با سایر موارد صرف‌نظر شده است.

منابع هوایی و فضایی

موضوع تهیه اطلاعات موردنیاز از طریق سنجنده‌های فضایی، بعد از جنگ جهانی دوم آغاز شد و با شروع جنگ سرد به‌شدت گسترش یافت. امروزه سنجنده‌های فضایی کاربردهای بسیاری در خصوص تهیه اطلاعات بروز و دقیق، جمع‌آوری می‌نمایند. این سنجنده‌ها می‌توانند فعالیت‌های هسته‌ای و یا پرتاب موشک، آرایش‌های نظامی، شناسایی مراکز نظامی، شناسایی مراکز حساس و استراتژیک محدوده پوشش رادار و غیره را تشخیص دهند. (عابدینی و سهامی، ۱۳۷۹). منابع هوایی شامل انواع سکوهای سرنشین دار و بدون سرنشین می‌شود. سکوهای بدون سرنشین علاوه بر تأمین محصولات سه‌بعدی، مزایای متعددی از قبیل صرفه‌جویی در زمان، کاهش هزینه و نیاز کمتر به افراد متخصص و تجهیزات خاص نسبت به روش‌های سنتی فتوگرامتری و نقشه‌برداری زمینی را دارا می‌باشند. شناسایی قابلیت‌ها و توانمندی‌های سیستم‌های آشکارسازی دشمن از قواعد اولیه دفاع غیرعامل است. درنتیجه رصد و ایجاد پایگاه اطلاعاتی مبتنی بر سکوهای پرنده بدون سرنشین امری ضروری است. کوچک‌سازی و ایجاد سکوهای پرنده بدون سرنشین مختلف، افزایش توان تفکیک مکانی، طیفی، زمانی و

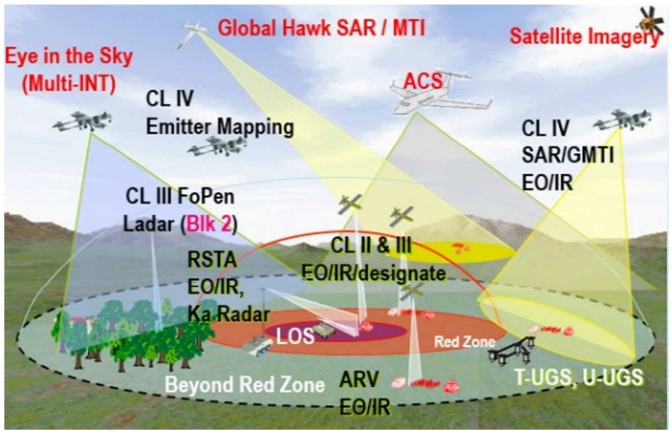
رادیومتریک و ترکیب سنجنده‌های پانکروماتیک، چند طیفی، حرارتی، ابر طیفی، راداری، لیدار، دید در شب و سیستم‌های شناسایی دقیق اهداف متحرک زمینی بخصوص اهداف متحرک استتار شده توسط (GMTI[1]) از مشخصات سکوهای پرنده بدون سرنشین نظامی نسبت به سکوهای پرنده بدون سرنشین تجاری است. با ترکیب صحیح تصاویر و اطلاعات سنجنده‌ها و استفاده از سیستم‌های پردازش تصویر طراحی‌شده برای این منظور می‌توان به اطلاعات نظامی تصویری (IMINT[2]) بهتری دست یافت. در شکل (۳) برخی از سنجنده‌های قابل‌نصب بر روی سکوهای پرنده بدون سرنشین آورده شده است.



شکل (۳) برخی از سنجنده‌های قابل‌نصب بر روی سکوهای پرنده بدون سرنشین

به دلیل محدودیت‌های فناوری و فیزیکی، سیستم‌های تصویربرداری نمی‌توانند تصاویری اخذ که هم به لحاظ قدرت تفکیک طیفی و هم قدرت تفکیک مکانی دارای رزولوشن بالایی باشد و در بیشتر موارد عکس می‌باشند. تصاویر پانکروماتیک دارای دقت مکانی بالاتر و طیفی پایین‌تری است، و تصاویر ابر طیفی دارای قدرت تفکیک بالاتر و مکانی پایین‌تری هستند. برای بهره‌مندی از هر دو نوع اطلاعات به‌صورت توأم (طیفی و مکانی) با دقت بالا از فن تلفیق تصاویر استفاده می‌شود (شکل ۴)(بشیری و همکاران، ۱۳۹۴). این فرآیند باعث ایجاد تصویری جدیدی می‌شود که دارای خصوصیات موردنیاز در سیستم‌های فرماندهی و کنترل است.

1. Ground Moving Target Indication
2. Imagery intelligence



شکل (۴) ترکیب سنجنده های به‌منظور نمایش و آشکارسازی اهداف خاص (Eye's of the army, 2010-2035)

ارتباط (C4I) با سکوهای پرنده بدون سرنشین و سامانه اطلاعات مکانی

با توجه به مباحث فوق به‌طور خلاصه می‌توان گفت که سیستم (C4I) یک سیستم هماهنگ و گسترده جمع‌آوری خبر، ارتباطات، فرماندهی، کنترل و اطلاعات است که از بخش‌های مختلفی تشکیل یافته است و به دلیل اینکه کلیه اطلاعات جمع‌آوری‌شده و ذخیره‌شده در پایگاه‌های اطلاعاتی این سیستم، به‌نوعی با فضا و موقعیت مکانی عوارض سطح زمین ارتباط پیدا می‌کند، ازاین‌رو برای مدیریت این داده‌ها می‌بایست از سیستم‌های اطلاعات مکانی استفاده کرد و این سیستم‌ها یکی از بخش‌های تفکیک‌ناپذیر سیستم‌های (C4I) هستند (رضایی و همکاران، ۱۳۸۲).

سکوهای پرنده بدون سرنشین دارای کاربردهای من‌جمله شنود و عملیات جاسوسی؛ پایش، شناسایی و تعیین موقعیت اهداف؛ جنگنده و سکوی سلاح‌های هوابرد؛ تست و مانور سامانه‌های پدافند هوایی؛ اختلال و انهدام سیستم‌های راداری و مخابراتی؛ اجرای عملیات تهاجمی؛ هدف پروازی برای تمرین و آموزش کارکنان شبکه پدافند هوایی توپخانه‌ای و موشکی و سایر کاربردها ازجمله کاربردهای سکوهای پرنده بدون سرنشین در امور نظامی می‌باشند. حال اگر سیستم‌های فرماندهی و کنترل در سطوح مختلف بررسی گردند، مشاهده می‌شود که بیشتر فعالیت‌های این سیستم‌ها از قبیل جمع‌آوری اطلاعات، اجرای بازی جنگ، کنترل واحدهای عملیاتی، تعیین ترتیب و غیره که از کاربردهای متداول یک سیستم فعال و بروز فرماندهی و

کنترل است در قالب یک سیستم مبتنی بر سکوهای پرنده بدون سرنشین و سامانه اطلاعات مکانی صورت می‌گیرد.

ابر نقاط سه‌بعدی، مدل رقومی سطح، مدل رقومی ارتفاعی و تصاویر ارتوموزاییک و سایر محصولات تولیدشده توسط تصاویر اخذشده توسط پهپاد و همچنین اطلاعات کیفی که از طریق پردازش‌های دستی و خودکار می‌تواند به‌عنوان لایه‌های اطلاعاتی بسیار مهم و دقیق در سامانه‌های اطلاعات مکانی مورداستفاده قرار گیرد به‌گونه‌ای که در کاربردهایی ازجمله تشخیص و ارزیابی استتار، آشکارسازی تغییرات، شناسایی و آشکاری اهداف، برنامه‌ریزی مأموریت، مکان‌یابی، میادین دید و تیر، سیستم‌های آفند و پدافند هوایی، کنترل پروژه؛ ذخیره‌سازی اطلاعات؛ مدیریت و طبقه‌بندی اطلاعات؛ تهیه گزارش‌ها و یا فعالیت‌های نظامی از قبیل تهیه نقشه‌های عملیاتی؛ شبیه‌سازی میادین جنگ؛ مکان‌یابی؛ میادین دید و تیر؛ کشف تغییرات؛ برنامه‌ریزی مأموریت؛ پشتیانی توپخانه‌ها از عملیات در کوهستان و مناطق مسکونی و شهری؛ توجیه نیروهای عملیات و کاربردهای دیگر مورداستفاده قرار گیرد. در ادامه برخی کاربردهای نظامی مدل رقومی سطح (DSM) مورد ارزیابی قرارگرفته است (جدول ۱).

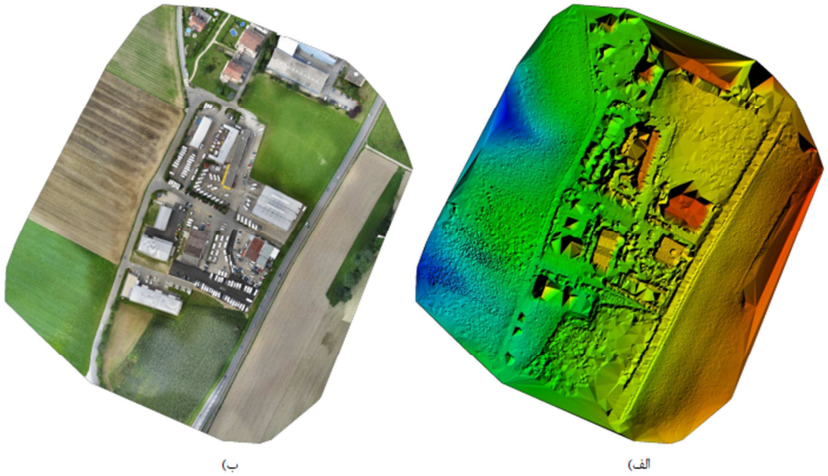
جدول (۱) برخی کاربردهای نظامی مدل رقومی سطح (DSM)

کاربرد نظامی	تعریف/مثال
آگاهی مکانی	تولید و استفاده از یک مدل سه‌بعدی برای شناخت یک مکان مشخص
خط دید	استفاده از یک مدل برای ارزیابی خط دید پست‌های احتمالی دشمن
شبیه‌سازی خسارت‌های بمب‌های دستی	استفاده از یک مدل برای ارزیابی خسارت‌های ناشی از انفجار بمب‌های دستی
آشکارسازی تغییرات	مقایسه دو مدل تولیدشده در دو زمان مختلف به‌منظور آشکارسازی تغییرات
ارزیابی منطقه میدان جنگ	ارزیابی یک منطقه که در آن عملیات نظامی انجام شده است
ارزیابی خسارت‌های ناخواسته	ایجاد مدل از یک منطقه برای ارزیابی آسیب‌های موجود در زیرساخت‌های غیرنظامی و نظامی که تحت حمله قرارگرفته است
برنامه‌ریزی مأموریت	انجام برنامه‌ریزی مأموریت با استفاده از یک مدل سه‌بعدی از منطقه موردنظر
انتخاب هدف	استفاده از یک مدل سه‌بعدی برای انتخاب دقیق هدف موردنظر

تجزیه‌وتحلیل عوارض زمین	استفاده از یک مدل سه‌بعدی برای ارزیابی پوشش گیاهی یک منطقه خاص، تعیین موقعیت تهدیدات احتمالی و تعیین خط دید منطقه
آموزش	مدل سه‌بعدی از شهر می‌تواند به بستری برای ایجاد محیط مجازی که به سربازان آموزش‌های عملیات‌های مختلف داده شود

منطقه موردمطالعه

مطالعات صورت گرفته در این تحقیق بر روی منطقه Étagnières در کشور سوئیس واقع در عرض جغرافیایی ′36 °46 و طول جغرافیایی ′6°37 صورت گرفته است. برای این منظور مجموعاً ۱۸۶ عکس از منطقه توسط سکوی پرنده بدون سرنشین مدل eBee plus شرکت سنسفلای سوئیس و سنجنده CanonIXUS127HS اخذ و پردازش گردید و محصولاتی نظیر ابر نقاط رنگی سه‌بعدی، تصویر ارتوموزاییک، مدل رقومی سطح (DSM[1]) و مدل رقومی ارتفاعی (DEM[2]) و سایر محصولات استخراج گردید (شکل ۵).



شکل (۵) الف) مدل رقومی سطح ب) تصویر ارتوموزاییک منطقه موردمطالعه

1. Digital Surface Model
2. Digital Elevation Model

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

ارزیابی دقت هندسی داده‌های مکانی تولیدشده توسط سکوهای پرنده بدون سرنشین

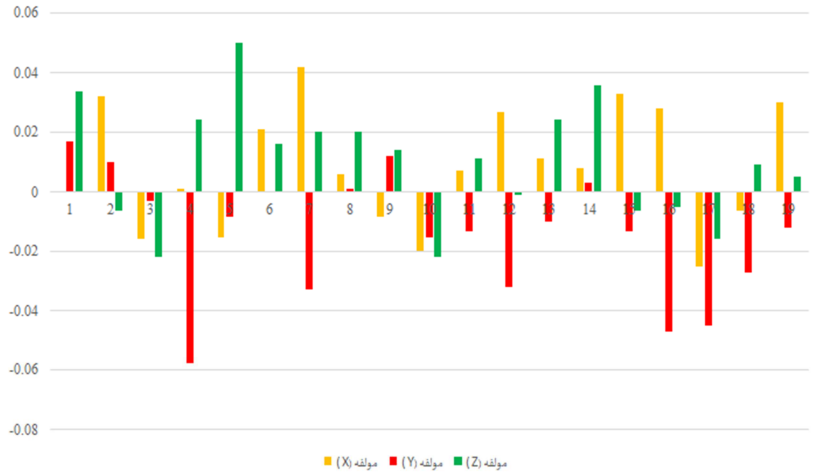
به‌منظور اثبات دقت هندسی محصولات تولیدشده از تصاویر اخذشده توسط سکوهای پرنده بدون سرنشین مطالعات صورت گرفته بر روی داده‌های تولیدشده توسط این ابزار انجام پذیرفته است. به‌منظور عکس‌برداری دقیق، افزایش دقت هندسی و عدم نیاز به نقاط کنترل زمینی از گیرنده سامانه ماهواره‌ای ناوبری جهانی (GNSS[1]) و واحد اندازه‌گیری اینرشیال (IMU) برای اندازه‌گیری دقیق المان‌های توجیه خارجی تصاویر استفاده شده است. سپس به‌منظور ارزیابی دقت این المان‌ها در منطقه مجموعاً از ۱۹ نقطه کنترل زمینی به‌عنوان نقاط چک استفاده شد و خطای باقیمانده هر یک از آن‌ها محاسبه گردید (جدول ۱). تصویر ارتوموزاییک تهیه‌شده از منطقه دارای دقت هندسی ۲/۵ سانتیمتر و ابر نقاط رنگی و مدل رقومی سطح به‌دست‌آمده نیز دارای دقت در حدود چند سانتیمتر است (شکل ۹).

جدول (۲) خطای باقیمانده نقاط چک در سه مؤلفه (X,Y,Z) (برحسب متر)

شماره نقاط	خطای باقیمانده (مؤلفه X)	خطای باقیمانده (مؤلفه Y)	خطای باقیمانده (مؤلفه Z)
۱	۰	۰/۰۱۷	۰/۰۳۴
۲	۰/۰۳۲	۰/۰۱۰	-۰/۰۰۶
۳	۰/۰۱۶	-۰/۰۰۳	-۰/۰۲۲
۴	۰/۰۰۱	-۰/۰۵۸	۰/۰۲۴
۵	-۰/۰۱۵	-۰/۰۰۸	۰/۰۵۰
۶	۰/۰۲۱	۰	۰/۰۱۶
۷	۰/۰۴۲	-۰/۰۳۳	۰/۰۲۰
۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۱۴
۹	-۰/۰۰۸	۰/۰۱۲	-۰/۰۲۲
۱۰	-۰/۰۲	-۰/۰۱۵	۰/۰۱۱
۱۱	۰/۰۰۷	-۰/۰۱۳	-۰/۰۰۱

1. Global Navigation Satellite System

۱۲	۰/۰۲۷	-۰/۰۳۲	۰/۰۲۴
۱۳	۰/۰۱۱	-۰/۰۱۰	۰/۰۳۶
۱۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۶
۱۵	۰/۰۳۳	-۰/۰۱۳	-۰/۰۰۵
۱۶	۰/۰۲۸	-۰/۰۴۷	-۰/۰۱۶
۱۷	-۰/۰۲۵	-۰/۰۴۵	۰/۰۰۹
۱۸	-۰/۰۰۶	-۰/۰۲۷	۰/۰۰۷
۱۹	۰/۰۳۰	-۰/۰۱۲	۰/۰۰۵
مجموع	۰/۰۱۹۶۵۸	۰/۰۲۰۴۷۹	۰/۰۱۹۳۰۵
میانگین	۰/۰۰۸۲۳۰	-۰/۰۱۴۴۶۹	۰/۰۰۹۷۸۹
خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)	۰/۰۲۱۳۱۲	۰/۰۲۵۰۷۴	۰/۰۲۱۶۴۵



شکل (۶) خطای باقیمانده نقاط چک در سه مؤلفه (X,Y,Z)

مراحل اجرایی سیستم فرماندهی و کنترل (C4I)

به‌طورکلی مراحل اجرایی یک سیستم فرماندهی و کنترل (C4I) به شرح جدول (۳) است که مراحلی که سکوهای پرنده بدون سرنشین و سیستم‌های اطلاعات مکانی می‌توانند در آن نقش‌آفرینی کنند اشاره شده است. البته باید توجه داشت که ترتیب انجام امور فوق و

اولویت‌بندی آن‌ها متفاوت است و اولین قدم در راستای ایجاد این سیستم، تعیین اهداف بلندمدت و کوتاه‌مدت این سیستم بر اساس نظرات کارشناسان امر است. تشکیل شورای کاربران و انجام نیازسنجی و یا تعریف استانداردها و قوانین مربوط در مراحل بعدی قرار خواهند گرفت (رضایی و همکار، ۱۳۸۲).

جدول (۳) نقش و جایگاه سکوهای پرنده بدون سرنشین و سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) در اجرای یک سیستم فرماندهی و کنترل (C4I)

مراحل اجرایی یک سیستم فعال C4I	سکوهای پرنده بدون سرنشین	سیستم‌های اطلاعات مکانی
نیازسنجی جامع و تعیین دقیق حدود سیستم حداقل برای یک دوره ۱۰ ساله	✓	✓
بررسی کارشناسانه زیرساخت‌ها و تجهیزات موردنیاز و امکان‌سنجی		✓
اجرای برنامه‌های آموزشی مناسب در سطح نیروهای مسلح جهت کار با سیستم‌های جدید و فرهنگ‌سازی مناسب	✓	✓
برنامه‌ریزی جهت ایجاد زیرساخت‌های فنی موردنیاز در قالب یک برنامه زمان‌بندی‌شده	✓	✓
تدوین قوانین و دستورالعمل‌های مناسب جهت تولید، ذخیره‌سازی و نگهداری اطلاعات مختلف	✓	✓
طراحی نرم‌افزارها و پروتکل‌های ارتباطی مطمئن بین بخش‌های مختلف شبکه		✓
ایجاد سیستم‌های C4I و سیستم‌های مبتنی بر سکوهای پرنده بدون سرنشین و GIS به‌صورت محدود در سطح یگان‌های مختلف و اتصال کاربردهای اطلاعات آن‌ها در یک مرکز فرماندهی مشترک محلی	✓	✓
تشکیل شورای کارشناسان و برنامه‌ریزان در سطح نیروهای مسلح		✓
اتصال مراکز C4I محلی به یکدیگر و تشکیل سیستم C4I جامع در سطح نیروهای مسلح		✓

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

سکوهای پرنده بدون سرنشین و سیستم اطلاعات مکانی (GIS) دارای کاربردهای بی‌شماری در امور نظامی و فرماندهی است که در جنگ‌های آینده نقش بسیار کلیدی خواهند داشت. بنابراین نیازمند سکوهای پرنده بدون سرنشین اطلاعاتی با قابلیت‌های متناسب با انواع مأموریت اطلاعاتی‌های (شناسایی، مراقبت و هدف‌یابی، جمع‌آوری الکترونیکی) هستیم. همچنین سکوهای پرنده بدون سرنشین نظامی با قابلیت نصب سنجنده مختلف و استفاده از فن‌های تلفیق تصاویر این امکان را فراهم می‌آورند که در کوتاه‌ترین زمان اطلاعات موردنیاز را از مناطق دشمن با دقت و کیفیت بالا تهیه گردد. سامانه‌های مبتنی بر سکوهای پرنده بدون سرنشین می‌توانند با استفاده از اطلاعاتی که اخذ و به‌صورت برخط ارسال می‌کنند به‌عنوان منبعی مهم جهت تأمین اطلاعات موردنیاز سیستم‌های اطلاعات مکانی مطرح گردند تا به‌وسیله این اطلاعات تجزیه‌وتحلیل‌های مناسب و منطقی مدل‌سازی شده را انجام داده و تصمیم‌گیری صحیح و سریع برای فرماندهان و دستیابی به موقعیت جنگی برتر را ممکن نماید.

استفاده و به‌کارگیری مناسب از سکوهای پرنده بدون سرنشین و متناسب استفاده از سنجنده مناسب، تهیه اطلاعات موردنیاز فرماندهان و تصمیم گیران هرچه سریع‌تر فراهم ساخته به‌گونه‌ای که بدون ریسک از جانب سرمایه‌های انسانی اطلاعات دقیق و بروز از مناطق دشمن تهیه گردد و سپس این اطلاعات پس از پردازش‌های اولیه در سیستم‌های اطلاعات مکانی مورداستفاده گرفته (تأیید فرضیه اصلی). داشتن اشراف اطلاعاتی که توسط سکوهای پرنده بدون سرنشین تأمین می‌شود سبب می‌گردد که یگان‌های عملیاتی بسیار هدفمندتر عمل کرده و آن‌ها را با مخاطرات کمتری مواجه سازد. باید توجه داشت که در استفاده از این ابزارها تمامی تمهیدات لازم را بکار برد چراکه در غیر این صورت علاوه بر خسارت‌های مالی، سبب ایجاد اختلال در عملیات‌های نظامی می‌گردد (تأیید فرضیه‌های فرعی).

بر طبق جدول شماره (۳) مشاهده می‌گردد سکوهای پرنده بدون سرنشین و سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) در اجرایی یک سیستم فرماندهی و کنترل (C4I) کارآمد جزئی اجتناب‌ناپذیر به شمار می‌آیند. بر اساس شکل شماره (۶) و جدول شماره (۲)، میانگین خطای باقیمانده مربوط به نقاط چک در مؤلفه‌های مسطحاتی (X,Y) به ترتیب، ۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۴- متر و در مولفه ارتفاعی (Z)، ۰/۰۰۹ متر است که نمایانگر دقت بسیار بالای نقشه‌ها و محصولات سه‌بعدی تهیه‌شده با استفاده از سکوهای پرنده بدون سرنشین بدون استفاده از نقاط کنترل زمینی است. ازاین‌رو می‌توان با بهره‌گیری از گیرنده (GNSS) و واحد اندازه‌گیری اینرشیال

(IMU) بدون استفاده از نقاط کنترل زمینی از مناطق عملیاتی دشمن (مناطق دور از دسترس) اطلاعات موردنیاز فرماندهان و تصمیم گیران نظامی را با دقت بالا فراهم و با استفاده از سامانه‌های اطلاعات مکانی پردازش و تجزیه‌وتحلیل نمود.

با توجه به شکل (۴) در تشخیص استتار هر چه به سمت مناطق حساس‌تر پیشروی کنیم تلفیق داده‌های سنجنده‌های مختلف بسیار کارآمد به نظر می‌رسد. برای تشخیص استتار با استفاده از دود، گردوغبار، استتار در زیر خاک و عمق‌های نزدیک به سطح زمین و یا با استفاده از گیاهان و در مناطق جنگلی سنجنده‌های راداری و لیدار بسیار کارآمد است. همچنین در تشخیص استتار با استفاده از تورهای استتار، سنجنده‌های چند طیفی و مادون‌قرمز دارای قابلیت‌های بسیار زیادی می‌باشند. تلفیق این اطلاعات و استفاده از سیستم‌های نوین پردازشی تصاویر کمک شایانی به شناسایی و جلوگیری از انواع تهدیدات می‌کنند.

در پایان به پژوهشگران توصیه می‌گردد در تحقیقات آتی بهره‌گیری از قابلیت‌ها و پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به‌منظور پردازش و تجزیه‌وتحلیل داده‌های سنجنده‌های مختلف سکوهای پرنده بدون سرنشین موردتحقیق قرار دهند.

منابع

- اثنی عشری، امین. (۱۳۹۶). *ارزیابی قابلیت تصاویر پهپاد در تولید DSM و اورتوفتوموزائیک به‌منظور استفاده در مناطق عملیاتی*، پایان‌نامه ارشد، دانشکده و پژوهشکده پیامبر اعظم(ص) گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی، دانشگاه جامع امام حسین (ع).
- اسدی فرد، محمد.، (۱۳۹۴). نقش پهپادها در ایجاد امنیت و اشراف اطلاعاتی مناطق مرزی کشور. *پژوهش‌نامه مطالعات مرزی*، ۳ (۱)، ۱۷۹-۲۰۴.
- بشیر پور، مرتضی.، ولدان زوج، محمدجواد.، مقصودی، یاسر.، (۱۳۹۶) تلفیق تصاویر سنجش‌ازدوری با روش FFT-PCA. *مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*. ۵ (۲)، ۱۲۳-۱۴۰.
- پاتاجو، نوئل.، (۱۳۸۴). *راهنمای تدوین دکترین*. علمایی، داوود.، چاپ یکم، تهران، دبیرخانه هیئت عالی تجدیدنظر در آیین‌نامه‌های نیروهای مسلح.
- جلالی‌نسب، عبدالله.، رئوفیان، محمود.، (۱۳۹۰). نقش GIS در راستای بهره‌وری بهینه از C4I در امور دفاعی. *پنجمین کنفرانس ملی فرماندهی و کنترل ایران*، تهران، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، پردیس دانشکده فنی، دانشگاه تهران.
- رضایی, بهرام.، (۱۳۸۷). فرماندهـــان از به‌کارگیری GISچه سودی می‌برند؟. *علوم و فنون نظامی*، ۵ (۱۲), ۹۳-۱۰۰.
- رضایی، سعید.، عابدینی، مهدی.، (۱۳۸۲). تلفیق سیستم C4I2 با سیستم اطلاعات جغرافیایی و ایجاد سیستم فرماندهی و کنترل همه‌جانبه. *مجله سیاست دفاعی*، ۴۲ (۲)، ۱۶۹-۱۹۰.
- صمدزادگان، فرهاد.، سرپولکی، محمد.، (۱۳۹۱). توانمندسازی (C4I) با استفاده از فناوری اطلاعات مکانی. *نشریه علمی ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی*، ۴ (۱) ،۴۵-۵۴.
- عیسوی، هیرو.، قلیزاده، محمدحسن.، اجارودی، محمد.، (۱۳۹۰). تدوین استراتژی راهبردی در جنگ سایبری بر پایه تکنولوژی (RFID). *پنجمین کنفرانس ملی فرماندهی و کنترل ایران*، تهران، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، پردیس دانشکده فنی، دانشگاه تهران.
- کازرانی، علیرضا.، سعادت سرشت، محمد.، امن زاده، میلاد.، (۱۳۹۵). *خط تولید فتوگرامتری هوایی رقومی بر مبنای نرم‌افزار INPHO*. چاپ یکم ،تهران، انتشارات ماهواره.
- کالنیز، جان.، (۱۳۷۰). استراتژی بزرگ، کورش بایندر. *دفتر مطالعات سیاسی و بین‌المللی*، تهران.

- مدیری، مهدی.، آقا طاهر، رضا.، فلاح ززولی، محمد.، جعفری، محسن.، (۱۳۹۲). اهمیت جایگاه سیستم اطلاعات مکانی (GIS) در فرماندهی و کنترل (C4I). *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*، ۲۲ (۸۶)، ۵-۱۶.
- مطاعی، مسعود.، پریانی، محسن.، (۱۳۹۷). تبیین چگونگی به‌کارگیری پهپاد جهت جمع‌آوری اطلاعات از صحنه نبرد در یگان‌های رزمی نزاجا. *علوم و فنون نظامی*، ۱۴ (۴۵)، ۲۹-۵۲.
- نامی، محمدحسن.، جعفری، محسن.، آقا طاهر، رضا.، (۱۳۸۷). کاربردهای (GIS) در (C4ISR). دومین *کنفرانس فرماندهی و کنترل ایران*، تهران.
- Accardo, D., Fasano, G., & Forlenza, L., (2013). Flight test of a radar-based tracking system for UAS sense and avoid. *IEEE T Aero Elec Sys*, 49, 1139–1160.
- Amanda, C., Muller, S., Narayanan, (2009). Cognitively-engineered multisensor image fusion for military applications. *Information Fusion*, 10 (2), 137-149.
- Bayramov, A., Hashimov, E., & Nasibov, Y., (2019). Unmanned Aerial Vehicle Applications for Military GIS Task Solutions. *Automated Systems in the Aviation and Aerospace Industries. IGI Global*, 273-296.
- Defranco, E., Moravec, W., Xu, F., Hall, E., Hossain, M., Haynes, E.N., et al., (2016). Exposure to airborne particulate matter during pregnancy is associated with pretermbirth: a population-based cohort study. *Environ Health*, 15 (1), 1–8.
- Eyes of the Army. U.S. Army roadmap for unmanned aircraft systems 2010-2035. (2010). *U.S. Army UAS center of excellence (ATZQ-CDI-C). Bldg 5000, Lucky star street. Fort Rucker, Alabama*, 36362-5101, (334) 255-9850.
- Fleming, S., Jordan, T., Madden, M., Usery, E., Welch, R., (2009). GIS applications for military operations in coastal zones. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,* 64. 213-222.
- Howard, C., (2013). UAV command, control & communications - Military & Aerospace Electronics. *Military & Aero Space Electronics*, 24 (7), 1-15.
- Howard, C., (2013). UAV command, control & communications-Military & Aerospace Electronics. *Military & Aero Space Electronics*, 24 (7), 1-15.
- Purta, R., Dobski, M., Jaworski, A., & Madey, A., (2013). Testbed for Investigating the UAV Swarm Command and Control Problem Using DDDAS. *Procedia Computer Science*, 18, 2018-2027.
- Rezaei, M., Shokri, A.H., Miri Jazari, B., (2016). The effect of GPS antenna's phase center offset and satellite DOP's on the exact positioning. *International Academic Journal of Science and Engineering*. 3 (6), 218-230.

- Sadeghian, S., Shokri, A.H., (2018). New developments of UAVs in defense and civil applications. *The 13th Congress of the Iranian Geographic Society,* Tehran, National Geography Organization of Iran (NGOI).
- Shokri, A.H., Rezaei, M., Miri Jazari, B., (2017). Determine the optimum time to perform precise point positioning using GPS (case study Kermanshah, Iran). *The 2nd National Conference on Geospatial Information Technology (NCGIT),* Tehran, K.N. Toosi University of Technology Faculty of Geomatics Engineering.
- Shokri, A.H., Sadeghian, S, (2018). New developments of UAV photogrammetry in mapping and 3D modeling. *National Conference on Fundamental research in Civil Engineering, Architecture & Urbanism,* Tehran, Avaj Institute of Higher Education.
- Shokri, A.H., Sadeghian, S., (2019). New applications of UAVs and GIS in command and control (C4I) systems from the perspective of Geomatics, *5th National Conference on Defense Science and Engineering*, Tehran, Faculty of Defense Science and Engineering Imam Hossein Officer Training University.
- Wang, Q., et al., (2012). Object tracking via partial least squares analysis. *Image Processing IEEE Transactions*, 21(10), 4454-4465.
- Wikipedia contributors. (2020, February 27). Unmanned aerial vehicle. *In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved 11:32*, March 1, 2020.