

بررسی قابلیت هندسی تصاویر پهپاد با استفاده از مدل های فیزیکی، تجربی و هوش مصنوعی

محمد زین الدینی^۱، سعید صادقیان^{۲*}، علی سرکارگر اردکانی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم های اطلاعات مکانی - گروه سنجش از دور و سیستم های

اطلاعات مکانی - دانشگاه جامع امام حسین (ع)

zaynoddini@yahoo.com

^۲ استادیار آموزشکده نقشه برداری - سازمان نقشه برداری کشور

sadeghian@ncc.org.ir

^۳ استادیار گروه سنجش از دور و سیستم های اطلاعات مکانی - دانشگاه جامع امام حسین (ع)

aliardakani@yahoo.com

(تاریخ دریافت اسفند ۱۳۹۲، تاریخ تصویب اردیبهشت ۱۳۹۳)

چکیده

تصاویر رقومی هوایی پهپاد دارای کاربردهای متنوعی در استخراج اطلاعات مکانی، تهیه و بازنگری نقشه می باشد. هدف تحقیق ارزیابی روشهای تصحیح هندسی تصاویر رقومی هوایی پهپاد شامل: مدل های فیزیکی، پیاده سازی فرآیند کامل فتوگرامتری هوایی از مرحله کالیبراسیون آزمایشگاهی دوربین تا مثلث بندی و سرشکنی در چندین مرحله، تهیه ارتو فتو و نقشه های بزرگ مقیاس، همچنین پیاده سازی مدل های تجربی (چند جمله های دوبعدی، تبدیل افاین، درجه دوم و سوم، توابع کسری، تبدیل پروژکتو، درجه اول) و استفاده از مدلسازی هوش مصنوعی و در نهایت تعیین موقعیت دقیق عوارض با استفاده از نقشه تهیه شده می باشد. بهترین نتایج پیاده سازی مدل های فیزیکی به ترتیب برای نقاط مسطحاتی $x (0/2105)$ متر، $y (0/2856)$ متر و همچنین بهترین نتایج حاصل از مدلسازی تجربی با توابع چند جمله دو بعدی درجه سوم برای میزان باقیمانده های نقاط کنترل ۲ پیکسل (حدود ۲۴ سانتی متر) بدست آمد.

واژگان کلیدی: تصاویر پهپاد، مدل های فیزیکی، مدل های تجربی، هوش مصنوعی، نقشه

۱- مقدمه

امروزه استفاده از تصاویر هوایی رقومی اخذ شده توسط پهپادها مورد توجه حوزه های مختلف علوم مهندسی، طراحی و اجرایی قرار گرفته است. تصاویر هوایی رقومی پهپادها دارای کاربردهای متنوعی مانند تهیه نقشه، کشاورزی، جنگل داری، تخمین حوادث و باستان شناسی وبخصوص مراکز دفاعی می باشد. این تصاویر به عنوان ابزار ارزشمندی برای فراهم کردن اطلاعات معتبر، تکرار پذیر و سریع مورد استفاده قرار می گیرند. استفاده از این تصاویر هوایی، جهت تهیه نقشه هایی با جزئیات زیاد و بروزرسانی نقشه های قدیمی، قابل انجام است. با توجه به ظهور سکوهای بدون سرنشین تصویر برداری با قدرت تفکیک بالا، انجام پژوهش در زمینه آشنائی با این تکنولوژی جدید و بکارگیری آن می تواند منافع علمی و اقتصادی بسیاری برای کشور به همراه داشته باشد. تصاویر هوایی رقومی پهپادها با قدرت تفکیک بالا، به عنوان یکی از منابع تامین داده، کاربردهای فراوانی دارد. بررسی و تعیین مدل های تصحیح هندسی و زمین مرجع نمودن این تصاویر با توجه به رونق استفاده از آن ها در بسیاری از زمینه ها به شدت مورد توجه قرار گرفته و به عنوان یکی از موضوعات مهم در فتو گرامتری و سنجش از دور مطرح است. هر کدام از خطاهای هندسی این تصاویر با مدل ها و توابع ریاضی خاصی تصحیح هندسی می شوند. علاوه بر این، مدل های ریاضی، برای برقراری ارتباط بین زمین و تصاویر به کار می رود به عبارتی دیگر ارتباط بین فضای تصویر و فضای زمین را برقرار می کنند و شامل دو بخش اصلی اند:

- تصحیح اعوجاجات سیستم تصویر برداری در فضای تصویر.

- تعیین پارامترهای توجیه خارجی سیستم تصویر برداری در لحظه اخذ تصویر نسبت به سیستم مختصات زمین.

بررسی دقت مسطحاتی و ارتفاعی تصاویر با قدرت تفکیک بالا، از موضوعات مهم در حوزه علم سنجش از دور و فتوگرامتری بوده است. در کاربردهای مختلف تصاویر هوایی از جمله ترکیب و آنالیز تصاویر واستخراج اطلاعات مکانی، نیاز به مدل ریاضی جهت برقراری ارتباط دقیق بین فضای دو بعدی تصویر و فضای سه بعدی زمینی (زمین مرجع کردن) می باشد. تاکنون مدل های ریاضی مختلفی در این زمینه ارائه

شده است. استفاده از هر مدل بستگی به کاربرد، دقت مورد نیاز، نوع دوربین و تعداد نقاط کنترل دارد.

با توجه به مواردی مانند: تعداد پارامترهای توجیه خارجی، هزینه های مربوط به تهیه نقاط کنترل زمینی، سیاست های مربوط به عدم در اختیار قرار دادن اطلاعات دقیق سنجنده ها توسط کمپانی های سازنده، روش ها و توابع مختلفی برای تصحیح هندسی و مدلسازی تصاویر هوایی مورد تحقیق و توسعه قرار گرفته اند. به طور کلی مدل های ریاضی در دو گروه عمده قرار می گیرند که عبارتند از:

[۱]

- مدل های فیزیکی^۱

- مدل های تجربی، جنریک یا مدل های درون یاب^۲

در زمینه مدلسازی تصاویر سکوهای بدون سرنشین در داخل کشور تحقیقات کمی صورت گرفته است از جمله:

- در سال ۱۳۸۵ مهندس سعیدی در پایان نامه کارشناسی ارشد خود پروژه ناوبری اتوماتیک سکوهای هوایی بر مبنای مفاهیم بینایی کامپیوتر انجام دادند که به نوعی مورد استفاده در سکوهای بدون سرنشین داشت. [۲]

- در سال ۱۳۸۹ نیز تحقیقی توسط مهندس رضانی به انجام رسید. این پروژه توسط یک سکوی بدون سرنشین در رنج کوچک و بر مبنای فتوگرامتری با یک دوربین غیر متریک کوچک صورت گرفت. [۳]

- در سال ۱۳۹۱ مهندس معصومی در پایان نامه کارشناسی ارشد خود پروژه جمع آوری اطلاعات سه بعدی سطح زمین با استفاده از سکوهای پرنده بدون سرنشین فتوگرامتری را انجام دادند. تاکید این تحقیق استفاده از مدل های فیزیکی در تهیه نقشه های بزرگ مقیاس با کمک سکوی بدون سرنشین بود. [۴]

- در شهریور ماه سال ۹۲ مهندس شنکایی در پایان نامه کارشناسی ارشد خود در دانشگاه تهران پروژه تولید سریع مدل رقومی ارتفاعی بر مبنای جریان نوری با استفاده از داده های ویدئوگرامتری هوایی را انجام دادند که به نوعی مورد استفاده آن در سکوهای بدون سرنشین می باشد. [۵]

با توجه به سابقه ارائه شده در خصوص تحقیقات و پروژه های قبلی انجام شده با سیستم های بدون سرنشین می توان اظهار داشت غیر از تحقیق صورت گرفته توسط مهندس معصومی، مابقی تحقیقات در رنج های بسیار کوچک و یا

^۱ rigorous

^۲ non-rigorous

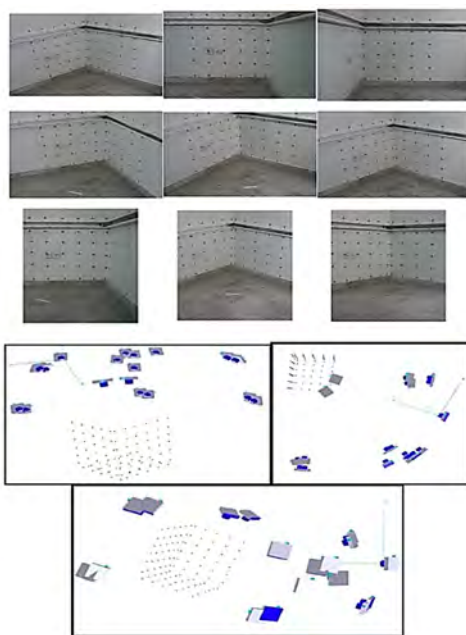
* هواپیمای بدون سرنشین* ایستگاه زمینی کنترل و هدایت هواپیما* تجهیزات هدایت و کنترل هواپرد* دوربین رقومی* سیستم تعیین موقعیت زمینی* سیستم فتوگرامتری

در این تحقیق در فاز اول به منظور انجام محاسبات فتوگرامتری، سرشکنی بلوک و ارزیابی نتایج و دقت از سیستم و نرم افزار حرفه ای LPS استفاده گردیده است.

۲-۱- مراحل اجرایی تحقیق فاز اول

در انجام تحقیق مبتنی بر اصول و مبانی ذکر شده قبلی، برای زمین مرجع سازی تصاویر و جمع آوری اطلاعات و تعیین موقعیت دقیق با استفاده از سکوی پرنده بدون سرنشین فتوگرامتری مراحل زیر انجام پذیرفته است.

* کالیبراسیون دوربین شکل (۱)* طراحی پرواز* عملیات پرواز و تصویر برداری* عملیات نقشه برداری زمینی* مثلث بندی و سرشکنی



شکل ۱- تصاویر شبکه و کالیبراسیون دوربین

با بررسی ماتریس وابستگی موارد زیر از سرشکنی شبکه ایجاد شده از موقعیت های مختلف تصویر برداری کالیبراسیون، استنباط می شود:

- وابستگی شدید بین پارامترهای k_2 و k_3 با k_1 بیانگر این واقعیت است که به علت کیفیت مناسب لنز

آزمایشگاهی و با استفاده از یک سکوی بدون سرنشین کوچک مقیاس و با سنسورهای غیر حرفه ای و یا ویدئویی صورت گرفته است و اکثر موضوعات پیرامون سکو، سنسور، تصویر، الگوریتم ها و روش ها بوده است. در این بین بیشتر از روشهای مدل فیزیکی برای زمین مرجع سازی تصاویر اخذ شده استفاده به عمل آمده است. در تحقیقات گذشته، سابقه ای از انجام ارزیابی در زمینه استفاده از روش های تجربی برای زمین مرجع سازی تصاویر اخذ شده توسط سکوهایی بدون سرنشین به چشم نمی خورد. سعی تحقیق حاضر بر این است که یک ارزیابی جامع در خصوص مدلهای هندسی صورت گیرد.

به منظور دستیابی به اهداف تحقیق و پیاده سازی مفاهیم ذکر شده در دو فاز پیاده سازی مفاهیم، صورت گرفت. در فاز اول ابتدا برای پیاده سازی مدل های فیزیکی، با استفاده از یک فروند هواپیمای بدون سرنشین و یک دستگاه دوربین رقومی غیر متریک با ابعاد متوسط^۱، برنامه ریزی و اقدامات عملیاتی لازم انجام پذیرفت. ابتدا با ایجاد یک آزمایشگاه کالیبراسیون پارامترهای کالیبراسیون دوربین تعیین و سپس طراحی و عملیات پرواز جهت اخذ داده های لازم انجام پذیرفت و در نهایت با انجام سرشکنی بلوک و ارزیابی دقت، امکان جمع آوری اطلاعات دقیق و تعیین موقعیت با سکوی پرنده (هواپیما) بدون سرنشین فتوگرامتری در منطقه قمرود، بررسی و ارزیابی گردید. در مرحله دوم مدلهای تجربی جهت تصحیح هندسی با استفاده از تصاویر اخذ شده از شهر هشتگرد و نقشه های ۱:۲۰۰۰، با مختصات نقاط کنترل و چک زمینی تعیین شده، پیاده سازی و نسبت به هم مورد ارزیابی قرار گرفتند سپس جهت بهبود سازی تصحیح هندسی از شبکه های عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفت. به شرح ذیل هریک از مراحل به تفصیل بیان می گردد.

۲- تجهیزات مورد استفاده فاز اول

در این تحقیق سعی گردیده با استفاده از مناسب ترین تجهیزات موجود بومی شده کشور و روش های حرفه ای فتو گرامتری که شرح آن در پایین آمده است، اهداف تحقیق را محقق نماییم.

^۱ Medium format

۳-۲- عملیات تصویر برداری هوایی

ابتدا اطلاعات مربوط به طراحی پرواز به عنوان اطلاعات اولیه وارد نرم افزار های مربوطه در ایستگاه زمینی هدایت و کنترل هواپیما گردیدند. پس از معرفی مشخصات پرواز، هواپیما از روی سکوی مربوطه پرواز داده شد و به ابتدای بلوک طراحی شده هدایت گردید و عملیات تصویر برداری طبق برنامه قبلی انجام و حدود تعداد ۱۸۰ فریم تصویر با ابعاد زمینی تقریبی $۶۱۳\text{ m} \times ۴۶۰\text{ m}$ اخذ گردید.

۴-۲- عملیات نقشه برداری زمینی

با توجه به در دسترس بودن اطلاعات موقعیت و وضعیت تقریبی مراکز تصویر حاصل از خروجی (GPS/INS) نصب شده در هواپیما، موزائیک تصاویر تهیه و با طراحی نقاط کنترل زمینی روی آن با استفاده از گیرنده های تعیین موقعیت ماهواره ایی دو فرکانسه مختصات زمینی دقیق این نقاط با دقت مسطحاتی ۵ سانتیمتر و دقت ارتفاعی ۱۰ سانتی متر اندازه گیری و محاسبه گردیدند. نقاط کنترل زمینی با شرایط زیر به نحوی طراحی و تهیه گردیدند تا ضمن فراهم نمودن شرایط برای مثلث بندی و سرشکنی امکان ارزیابی نتایج و دقت را نیز فراهم نمایند: - هر سه مدل فاصله یک نقطه کنترل- کل منطقه با نقاط کنترل پوشش داده شدند- طراحی نقاط در اطراف و داخل بلوک انجام گرفت- کلیه نقاط بصورت مسطحاتی و ارتفاعی بودند- ابعاد کادر برای انتخاب نقاط، ۵۰ متر مربع پیش بینی گردیدند.

۵-۲- تولید بلوک فایل

پس از معرفی اطلاعات اولیه بلوک مثل سیستم تصویر، سطح مبنای مسطحاتی و ارتفاعی، زون منطقه، اطلاعات مربوط به دوربین شامل نوع دوربین، فاصله کانونی، پیکسل سائز و ابعاد CCD و فایل تصاویر با انجام عملیات تناظر یابی در مناطق پوشش طولی و عرضی تصاویر، بصورت اتوماتیک در نرم افزار لایکا LPS، بلوک فایل تصاویر تولید و شکل گرفت شکل (۳). البته به دلایل مختلف مثل قدرت تفکیک رادیومتریکی تصاویر، پوشش و نوع عوارض طبیعی منطقه و کیفیت تصاویر، عملیات تناظر یابی به صورت اتوماتیک پاسخگو نبود بنابراین در برخی مناطق نقاط بصورت دستی انتخاب و معرفی گردیدند.

بکار رفته در این دوربین پارامتر $k1$ به تنهایی بیانگر اعوجاج شعاعی لنز می باشد.

- وابستگی شدید بین پارامترهای $P1$ با XP و $P2$ با YP بیانگر این واقعیت است که نیازی به ورود پارامترهای اعوجاج مماسی به محاسبات نبوده و بکارگیری XP و YP کافی خواهد بود. هیچ کدام از مقادیر موجود در ماتریس وابستگی هایی مقادیر بیشتر از $۰/۷$ ندارد. با توجه به ماتریس مقادیر کالیبره شده دوربین مذکور در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- پارامترهای کالیبراسیون دوربین بر حسب میلیمتر

پارامتر	مقدار	خطای استاندارد
فاصله کانونی کالیبره شده	82.4183 (mm)	$5.279\text{e-}003$ (mm)
جابجایی Principal Point در راستای محور X	-0.1025(mm)	$1.397\text{e-}003$ (mm)
جابجایی Principal Point در راستای محور Y	-0.0266(mm)	$1.504\text{e-}003$ (mm)
ضریب جمله اول اعوجاج شعاعی (K1)	$7.5631\text{e-}6$	2.276e-007

مقادیر سرشکنی				مجموع مربعات خطای باقیمانده			
ضرائب ثابت	پارامترها	مشاهدات	درجه آزادی	Sigma0	xy	y	x
11	406	2118	1723	0.012	0.52	0.583	0.462

۲-۲- طراحی پرواز و منطقه مورد مطالعه فاز اول

با توجه به اهداف تحقیق و امکانات پروازی در منطقه عملیاتی مورد مطالعه، طراحی پرواز برای منطقه شهر قمروود شکل (۲) انجام پذیرفت، در طراحی پرواز علاوه بر تعیین مسیر نوارهای پروازی، میزان پوشش طولی ۷۰% ، پوشش عرضی ۳۰% و ارتفاع پرواز ۱۰۰۰ متر از سطح منطقه تعریف گردیدند.



شکل ۲- شهر قمروود منطقه مطالعاتی فاز اول

۷-۲- سرشکنی با نقاط کنترل کامل در لبه های بلوک

در این حالت برای محاسبات علاوه بر اطلاعات GPS/INS، از ۲۲ نقطه کنترل کامل در لبه های بلوک استفاده شده است. برای برآورد دقت در این حالت از ۱۴ نقطه چک استفاده شده است. نتایج حاصل در جدول (۳) آورده شده است. از مقادیر مندرج در این جدول نتیجه گیری می شود با پیش بینی نقاط کنترل کامل در لبه های بلوک، دقت افزایش می یابد و امکان تهیه اطلاعات دو بعدی با دقت استاندارد ۱:۲۰۰۰ وجود دارد.

جدول ۳- مقدار متوسط و میانگین باقیمانده های خطا در سرشکنی با نقاط کنترل در لبه بلوک

	X(m)	Y(m)	Z(m)
Min	-0.1163	0.0339	12.0190
Max	0.3876	0.6054	23.5852
RMSE	0.2105	0.2856	17.9346

در شکل (۵) نمونه ای از ارتوفتو موزاییک با استفاده از تصاویر دوربین غیر متریک رقومی (فاصله کانونی: ۸۰ میلیمتر، پیکسل ساینز: ۶/۸ میکرون، ابعاد CCD: ۵۴۱۲*۷۲۱۶ پیکسل) به روش فتو گرامتری رقومی از شهر قمروند تهیه گردیده است. عملیات پرواز و تصویر برداری در چنین سطحی برای اولین بار در سطح کشور توسط هواپیمای بدون سرنشین انجام پذیرفت. مقیاس این ارتوفتو ۱:۲۰۰۰ می باشد. سیستم تصویر: UTM، سطح مبنای مسطحاتی: WGS 84، سطح مبنای ارتفاعی: سطح آبهای آزاد خلیج فارس، پیکسل ساینز موزائیک: ۲۰ سانتی متر، ارتفاع پرواز: ۱۰۰۰ متر، تعداد تصاویر در موزائیک: ۴۸ فریم می باشد.



شکل ۵- ارتوفتو موزائیک شهر قمروند تهیه شده از تصاویر رقومی پهپاد



شکل ۳- بلوک فایل تولید شده در نرم افزار LPS

۶-۲- انجام محاسبات مثلث بندی

در این مرحله با وارد کردن فایل نقاط کنترل زمینی، سیستم مختصات تصاویر به سیستم مختصات زمینی منتقل و عملیات سرشکنی انجام گردید. محاسبات سرشکنی با معرفی دقت نقاط کنترل زمینی (۵ سانتیمتر برای مسطحاتی و ۱۰ سانتیمتر برای ارتفاعی) تا دقت ۰/۰۰۱ و تا تکرار ۳ بار انجام پذیرفته است. برای ارتباط بین سیستم مختصات رستری و سیستم مختصات تصویری یک تبدیل دو بعدی بکار می رود که معمولاً از تبدیل افاین استفاده می شود. شکل (۴)

Affine coefficients from file (pixels) to file (millimeters)					
A0	A1	A2	B0	B1	B2
18.3974	0.000000	-0.006800	24.5310	-0.006800	-0.000000

شکل ۴- تبدیل دوبعدی افاین

بطور کلی مثلث بندی در دو فاز مشاهداتی و محاسباتی به شرح جدول (۲) انجام پذیرفت. در فاز مشاهداتی با انجام عملیات تناظر یابی و با اطلاعات اولیه مراکز تصویر نحوه پوشش تصاویر و نوارهای پرواز کنترل گردیدند و تصاویر دارای اشکال که اغلب در ابتدای و انتهای نوارهای پروازی بودند حذف گردیدند، در مرحله بعد ابتدا برای هر نوار پرواز سرشکنی انجام و نقاط و مشاهدات اشتباه حذف گردیدند و در نهایت عملیات مثلث بندی و سرشکنی برای کل بلوک در چندین مرحله انجام شد که بهترین نتیجه حاصل مربوط به سرشکنی با نقاط کنترل کامل در لبه های بلوک حاصل شد.

جدول ۲- مثلث بندی در دو فاز مشاهداتی و محاسباتی

فاز محاسباتی	فاز مشاهداتی
سرشکنی کل نوار های اجسمت شده به روش باندل (مرحله ۲)	سرشکنی نوار های پروازی به روش دسته اشعه (مرحله ۱)
تصاویر	تصاویر

۳- پیاده سازی مدل های تجربی

RGB و با زاویه دید ۴۳ درجه و در محدوده باند مرئی در سه باند قرمز، سبز و آبی می باشد.



شکل ۶- شهر هشتگرد ناحیه مورد مطالعه فاز دوم

در این مرحله از تحقیق قابلیت تصویر هوایی رقومی اخذ شده توسط سکوی بدون سرنشین به منظور تهیه و بروز رسانی نقشه های بزرگ مقیاس و در نهایت تعیین موقعیت عوارض از نقشه های تهیه شده، با استفاده از مدل های تجربی شامل چند جمله ای های دوبعدی (متشابه، افاین و درجه دو و سوم)، توابع کسری پروژکتیو و درجه اولبررسی می گردد. بنابراین ابتدا لازم است تا دقت مدل سازی و تصحیح هندسی این تصاویر ارزیابی گردند و دقت هندسی قابل استخراج از این تصاویر مشخص و مقایسه گردند.

۳-۱- تجهیزات و داده های مورد استفاده

در این قسمت از تحقیق سعی گردید از تجهیزات بکارگیری شده در مرحله قبل استفاده گردد. بدین منظور از مناسب ترین تجهیزات موجود کشور و روش های حرفه ای فتو گرامتری که شرح آن در پایین آمده است، به کارگیری شد تا اهداف تحقیق را محقق نماییم. این مرحله بدین شکل در روند تحقیق شبیه سازی شده که فرض بر وجود داشتن اطلاعات، نقشه ها و نقاط کنترل زمینی از منطقه تصویر برداری شده می باشد.

* هواپیمای بدون سرنشین* ایستگاه زمینی کنترل و هدایت هواپیما* تجهیزات هدایت و کنترل هواپرد* دوربین رقومی* نقشه های رقومی با مقیاس ۱:۲۰۰۰* سیستم فتوگرامتری

۳-۲- ناحیه مورد مطالعه فاز دوم

در این مطالعه از تصویر هوایی رقومی پهپاد اخذ شده از شهر هشتگرد شکل(۶)استفاده شده است. این تصاویر از ارتفاع ۱۰۰۰ متر از سطح منطقه مورد مطالعه اخذ شده است. نقاط کنترل زمینی و چک از نقشه های رقومی با مقیاس ۱/۲۰۰۰ که توسط سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح تهیه گردیده بود، استخراج شده است. سنسور عکسبرداری رقومی پهپاد مورد استفاده در این تحقیق، از نوع Frame type و شامل یک لنز با فاصله کانونی ۶۰ میلی متری است. هر فریم تصویر برداری دارای بیش از ۳۹/۹ مگاپیکسل با ابعاد فریم ۶/۸ میکرون در حالت

۳-۳- نقاط کنترل و چک

برای این تحقیق در مجموع ۵۰ نقطه به عنوان نقاط کنترل و چک انتخاب شده است. همچنین تلاش شده که نقاط کنترل توزیع مناسبی داشته باشند از آنجایی که در برخی از نواحی منطقه مورد مطالعه چگالی عوارض بیشتری داریم ناگزیر تعداد بیشتری نقاط کنترل در این مناطق انتخاب شده است. می توان تعداد نقاط کنترل و چک را در ترکیب های متنوعی استفاده نمود. به این صورت مشاهده می نماییم تغییر در تعداد نقاط کنترل چه تغییری در دقت زمین مرجع کردن به وجود می آورد. در این بخش به پیاده سازی روش های زمین مرجع کردن با استفاده از نقاط کنترل می پردازیم. می توانیم برای زمین مرجع کردن تصویر نسبت به نقشه سه ترکیب مختلف از این نقاط را پیشنهاد دهیم. به منظور بررسی اثر تعداد و توزیع نقاط کنترل در مدلسازی تصاویر اخذ شده توسط سکوی بدون سرنشین ۳ سری نقطه با ترکیب های متفاوت مطابق با جدول (۴) در نظر گرفته شده است.

جدول ۴- ترکیب مختلف نقاط کنترل و چک

تعداد نقاط کنترل	تعداد نقاط چک
۳۷	۱۳
۳۳	۱۷
۲۵	۲۵

نقشه ها نیز بسیار با دقت بالا صورت می گیرد. محل های متناظر نقاط کنترل و چک نیز در نقشه مربوطه برای هر تصویر با رنگ های قرمز و آبی مشخص شده است.

۳-۴- داده های مورد استفاده

نقاط کنترل زمینی و چک مورد استفاده در پروژه از نقشه های رقومی سه بعدی ۱:۲۰۰۰ با بیضوی مبنای WGS84 و سیستم تصویر UTM با فرمت DWG که توسط سازمان جغرافیایی تولید شده است، استخراج گردیده است. نقاط کنترل زمینی و چک، عوارض معمولی بر روی زمین مانند گوشه های ساختمان ها، استخرها و محل تقاطع دیوارها، راه ها و غیره می باشند. موقعیت نقاط کنترل زمینی و چک را بر روی تصویر نیز با استفاده از نرم افزار PCI اندازه گیری شده است. همچنین مدل رقومی ارتفاعی شهر هشتگرد با استفاده از نرم افزار PCI تهیه گردید.

۳-۵- پیاده سازی و ارزیابی نتایج مدلسازی به روش چند جمله های دو بعدی

تصحیح هندسی و مدلسازی به روش چند جمله ای دو بعدی با استفاده از نرم افزار MATLAB صورت گرفته است. برای این منظور از چند جمله ای با درجات مختلف، از یک تا سه، استفاده گردیده است. نقاط کنترل و چک نیز به صورت ۳ مجموعه ذکر شده در جدول (۴) به کار رفته است. همانطور که دیده می شود با بالا رفتن درجه چندجمله ای تعداد ضرایب تبدیل نیز افزایش یافته بنابراین تعداد نقاط بیشتری برای یافتن ضرایب تبدیل نیازمندیم. در جدول (۵) حداقل تعداد نقاط برای یافتن ضرایب تبدیل چندجمله ای ها با درجات مختلف آورده شده است.

مدل تبدیل چند جمله ای: معادلات تبدیل های چند جمله ای با درجات مختلف به صورت زیر است:

• مدل متشابه

$$\begin{aligned} x' &= ax + by + c \\ y' &= -bx + a + d \end{aligned} \quad (1)$$

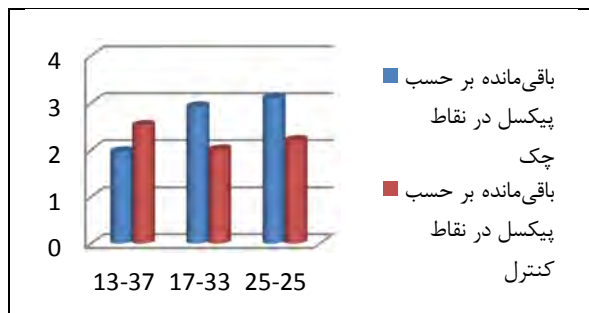
• تبدیل افاین (چند جمله ای درجه اول)



شکل ۷- توزیع نقطه کنترل (قرمز) و نقطه چک (آبی) بر روی تصویر و نقشه

در ترکیب نقاط، تعداد نقاط کنترل و چک را تغییر داده و در فرآیند مدلسازی با روش های مختلف، اثر افزایش و کاهش نقاط کنترل به همراه نحوه توزیع آنها بیان گشته است. همانگونه که در جدول (۵) مشخص گشته است در سری نقاط، برای سری ردیف اول، بیشترین تعداد نقاط کنترل و در سری نقاط ردیف سوم نیز دارای تعداد مساوی نقطه کنترل و چک در نظر گرفته شده است. با تغییر در تعداد نقاط، توزیع آن ها هم دچار تغییر می گردد تا در ضمن مطالعه، اثر توزیع و تعداد نقاط کنترل در فرآیند مدلسازی مورد بررسی قرار گیرد. در شکل شماره (۷) محل قرار گیری نقاط کنترل در تصویر، با علامت قرمز رنگ و محل قرار گیری نقاط چک در تصویر، با علامت آبی رنگ مشخص گردیده است. در توزیع نقاط کنترل و چک سعی گردیده است تا نقاط چک در میان نقاط کنترل و توزیع آنها بگونه ای مناسب صورت گیرد. علاوه بر این توزیع نقاط کنترل بگونه ای است تا حتی با کمترین تعداد تمامی سطح تصویر را پوشش دهد. از آن جایی که در این تحقیق هدف تعیین موقعیت عوارض از نقشه های بزرگ مقیاسی که تهیه و برورزرسانی شده است بخصوص نقشه های ۱:۲۰۰۰ می باشد، تمامی نقاط کنترل و چک از همین نقشه ها استخراج گشته اند تا دقت نقاط کنترل و چک همان دقت نقشه های ۱:۲۰۰۰ باشد. بدین ترتیب تعیین موقعیت حاصله با این

کنترل ۲ پیکسل با هم باشد، بهترین نتیجه با ترکیب نقاط سری دوم حاصل گشته است شکل (۸).



شکل ۸- نمایش نتایج حاصل از مدلسازی با توابع چندجمله‌ای دوبعدی برای سه حالت در وضعیت درجه سوم بر حسب پیکسل

جدول ۶- بهترین نتایج حاصل از مدلسازی با توابع چندجمله‌ای دوبعدی برای سه حالت در وضعیت درجه سوم بر حسب پیکسل

ترکیب نقاط کنترل و چک	باقی مانده بر حسب پیکسل در نقاط کنترل			باقی مانده بر حسب پیکسل در نقاط چک		
	RM S_X Y	MA D_Y	MA D_X	RMS _XY	MA D_Y	MA D_X
۳۷-۱۳	۲,۵۲	۱,۵۵	۱,۵۱	۱,۹۶	۱,۲۱	۱,۲۵
۳۳-۱۷	۲,۰۰	۱,۳۱	۱,۲۳	۲,۹۲	۱,۸۵	۱,۵۱
۲۵-۲۵	۲,۲۰	۱,۶۲	۱,۱۶	۳,۱۰	۱,۶۱	۲,۱۲

۳-۶- پیاده سازی و ارزیابی نتایج مدلسازی به روش تابع رشنال

توابع رشنال به شدت وابسته به توزیع و تعداد نقاط کنترل زمینی هستند بنابراین ترکیب مختلف نقاط کنترل و چک برای به دست آوردن ضرایب این توابع و تصحیح هندسی در نظر گرفته شده است. از نقاط کنترل به منظور تخمین ضرایب و از نقاط چک به منظور ارزیابی مدل ایجاد شده و ضرایب بدست آمده استفاده گردیده و باقیمانده ها (RMSE) در نقاط چک و نقاط کنترل که نشان دهنده دقت هندسی مدلسازی می باشد، بیان شده است. با تغییر تعداد ترم ها و همچنین تغییر در ترکیب نقاط مطابق جدول، میزان باقیمانده ها در نقاط کنترل و چک تغییر می یابد. برای این حالت معادلات مربوط به پروژکتیو و توابع کسری مرتبه اول در نظر گرفته شده- است. در این حالت با بالا رفتن درجه چندجمله‌ای تعداد

$$\begin{aligned} x' &= a_0 + a_1x + a_2y \\ y' &= b_0 + b_1x + b_2y \end{aligned} \quad (2)$$

• چند جمله‌ای درجه دوم

$$\begin{aligned} x' &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy \\ &+ a_5y^2 \end{aligned} \quad (3)$$

$$y' = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2$$

• چند جمله‌ای درجه سوم:

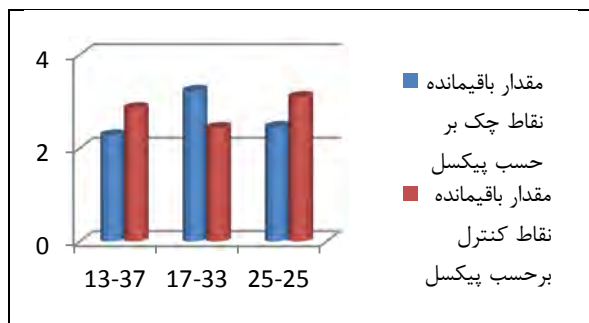
$$\begin{aligned} x' &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy \\ &+ a_5y^2 + a_6x^3 + a_7x^2y \\ &+ a_8xy^2 + a_9y^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y' &= b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 \\ &+ b_6x^3 + b_7x^2y + b_8xy^2 \\ &+ b_9y^3 \end{aligned} \quad (4)$$

جدول ۵- حداقل تعداد نقاط برای یافتن ضرایب تبدیل چندجمله‌ای‌ها

درجه چند جمله‌ای	تعداد ضرایب (مجهولات)	حداقل تعداد نقاط کنترل
متشابه	۴	۲
درجه اول (افین)	۶	۳
درجه دوم	۱۲	۶
درجه سوم	۲۰	۱۰

پیاده‌سازی‌ها با استفاده از نرم‌افزار MATLAB صورت گرفته‌است. نقاط کنترل و نقاط چک به صورت همان سه ترکیبی که در جدول (۵) ذکر شد در نظر گرفته‌است. جزئیات نتایج حاصل از مدلسازی با چند جمله ای دو بعدی در درجات مختلف و با استفاده از ترکیب مختلف نقاط کنترل و چک با میزان باقیمانده در نقاط کنترل بر حسب پیکسل و میزان باقیمانده در نقاط چک بر حسب پیکسل در جدول (۶) بیان گشته است. اگر مبنای مقایسه و ارزیابی نتایج در توزیع مختلف نقاط و درجات متفاوت، میزان باقیمانده در نقاط چک باشد، بهترین نتیجه با ترکیب نقاط سری اول ۱/۹۶ پیکسل حاصل گشته است و اگر مبنای مقایسه و ارزیابی نتایج در توزیع مختلف نقاط و درجات متفاوت، میزان باقیمانده در نقاط کنترل باشد، بهترین نتیجه با ترکیب نقاط سری دوم ۲ پیکسل حاصل گشته است. اگر مبنای مقایسه و ارزیابی نتایج در توزیع مختلف نقاط و درجات متفاوت، میزان باقیمانده در نقاط چک ۲/۹۲ پیکسل و نقاط



شکل ۹- نمایش نتایج حاصل از مدلسازی با توابع کسری برای سه حالت در وضعیت درجه اول بر حسب پیکسل

۷-۳- مدل سازی هندسی تصویر به روش شبکه های عصبی مصنوعی

۳-۷-۱- تنظیمات مربوط به شبکه عصبی

به منظور مدلسازی هندسی تصویر با شبکه های عصبی مصنوعی از یک شبکه پرسپترون سه لایه با الگوریتم پس انتشارخطا و آموزش به روش مارکولت-لونیبرگ، استفاده شده است. این شبکه شامل یک لایه ورودی، یک لایه میانی و یک لایه خروجی است و لایه ورودی شامل سه نرون متناظر با داده های سه بعدی زمینی X, Y, Z و لایه خروجی متناظر با مختصات تصویر r, c و لایه میانی با تعداد نرون های مختلف در نظر گرفته می شوند. برای این روش نیز مانند روش های قبل سه ترکیب مختلف برای نقاط چک و کنترل در نظر می گیریم. به منظور آموزش شبکه، از نقاط کنترل با عنوان نقاط آموزش استفاده می شود و نقاط چک را که در آموزش نقشی ندارند برای تست به عنوان نقاط اعتبار سنجیه کار می بریم برای تست و آزمون شبکه به کار گرفته شده است. این مدل سازی به طور معمول جهت بهبود سازی نتایج حاصل از مدل های تجربی انجام می شود. دیگر تنظیمات و محدودیت های به کار رفته در فرآیند آموزش عبارتند از:

- تعداد اپک های آموزش: ۱۰۰۰
- محدوده گرادیان: $[1.00e-7, 2.57e+6]$
- محدوده μ : $[0.001, 1.00e+10]$

ضرایب تبدیل نیز افزایش یافته بنابراین تعداد نقاط بیشتری برای یافتن ضرایب تبدیل نیازمندیم.
*تبدیل پروژکتیو

$$x' = \frac{a_0 + a_1x + a_2y}{1 + c_1x + c_2y} \quad (5)$$

$$y' = \frac{b_0 + b_1x + b_2y}{1 + c_1x + c_2y}$$

• مدل کسری درجه اول

$$x' = \frac{a_0 + a_1x + a_2y}{1 + c_1x + c_2y} \quad (6)$$

$$y' = \frac{b_0 + b_1x + b_2y}{1 + d_1x + d_2y}$$

جدول ۷- بهترین نتایج حاصل از مدلسازی با توابع کسری برای سه حالت در وضعیت درجه اول

ترکیب نقاط کنترل و چک	باقی مانده بر حسب پیکسل در نقاط کنترل			باقی مانده بر حسب پیکسل در نقاط چک		
	RMS_XY	MAD_Y	MAD_X	RMS_XY	MAD_Y	MAD_X
۳۷-۱۳	۲,۸۶	۱,۸۶	۱,۶۳	۲,۲۸	۱,۸۶	۱,۰۶
۳۳-۱۷	۲,۴۴	۱,۷۹	۱,۳۷	۳,۲۳	۲,۱۴	۱,۶۴
۲۵-۲۵	۳,۱۰	۲,۰۴	۱,۷۷	۲,۴۶	۱,۸۰	۱,۳۸

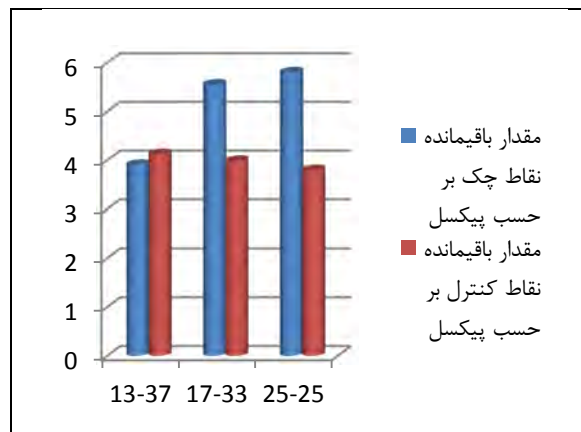
در صورتی که بهترین نتایج مربوط به کمترین مقدار باقیمانده برای نقاط کنترل باشد، بهترین وضعیت در حالت درجه اول و با ترکیب ۳۳ نقطه کنترل و ۱۷ نقطه چک می باشد. بعبارتی دیگر در ترکیب سری دوم و استفاده از تابع تبدیل مدل کسری درجه اول بهترین نتیجه برای نقاط کنترل بدست آمده است. شکل (۹) اگر مبنای مقایسه و ارزیابی نتایج در توزیع مختلف نقاط و درجات متفاوت، میزان باقیمانده در نقاط چک باشد، بهترین نتیجه با ترکیب درجه اول و با سری اول ۲/۲۸ پیکسل حاصل گشته است و اگر مبنای مقایسه و ارزیابی نتایج در توزیع مختلف نقاط و درجات متفاوت، میزان باقیمانده در نقاط کنترل باشد، بهترین نتیجه با ترکیب نقاط سری دوم و در حالت درجه اول ۲/۴۴ پیکسل حاصل گشته است.

۳-۷-۲- نتایج عملی مدلسازی هندسی تصویر به روش شبکه های عصبی مصنوعی

نتایج حاصل از مدل سازی هندسی تصویر به روش شبکه های عصبی مصنوعی با تنظیمات ذکر شده در بالا در جدول (۸) بیان گردیده است که شامل میزان باقیمانده ها برای نقاط آموزش، نقاط اعتبارسنجی و نقاط تست می باشد. با مقایسه این جدول مشخص می گردد بهترین نتایج برای باقیمانده های نقاط چک در وضعیت ترکیب سری اول یعنی ۳۷-۱۳ رخ داده است، عدد حاصل برای نقاط کنترل ۳/۹۹ می باشد. شکل (۱۰)

جدول ۸- نتایج مدلسازی به روش شبکه های عصبی

ترکیب نقاط	باقی مانده بر حسب پیکسل در نقاط کنترل			باقی مانده بر حسب پیکسل در نقاط چک		
	RMS_XY	MAD_Y	MAD_X	RMS_XY	MAD_Y	MAD_X
۳۷-۱۳	۴,۱۳	۲,۷۲	۲,۴۵	۳,۹۱	۲,۴۸	۲,۵۲
۳۳-۱۷	۳,۹۹	۲,۹۴	۲,۴۸	۵,۵۶	۳,۹۸	۳,۱۶
۲۵-۲۵	۳,۸۰	۳,۱۱	۱,۷۳	۵,۸۱	۴,۰۹	۳,۱۷



شکل ۱۰- نمایش نتایج حاصل از مدلسازی به روش شبکه های عصبی برای سه حالت بر حسب پیکسل

نتایج نشان می دهد که شبکه های پرسپترون با یک لایه میانی و با تعداد نرون مناسب قادر به مدل سازی هندسی تصاویر هوایی رقومی پهپاد هستند. با استفاده از این مدل ها می توان به دقت تقریباً مناسبی در نقاط آموزش، اعتبار سنجی و تست، دست یافت.

۴- نتیجه گیری

باتوجه به کلیه نتایج حاصل از اجرای فاز اول پروژه می توان نکات زیر را به عنوان عمده و برجسته ترین نتایج طرح بیان نمود:

* باتوجه به مشکل کوچک بودن ابعاد فریم تصویر و مشکلات ناشی از آن قدرت تفکیک دوربین باید تا حد امکان بالا بوده و باید از لنزهای با زاویه دید بازتر استفاده شود تا بتواند کوچک بودن فرمت و مشکل تشخیص عوارض را بهبود دهد.

* ناوبری سکوها در چنین پروژه هایی از جایگاه ویژه ای برخوردار بوده و عدم توجه مناسب به آن موجب بروز مشکلات گوناگونی از جمله گپ، چه در بین عکس ها و یا نوارهای پروازی می گردد.

* نتایج حاصل از ارزیابی های انجام شده نشانگر ارتباط مستقیم صحت و دقت نتایج حاصل با پراکندگی نقاط کنترل زمینی می باشد. طراحی مناسب نقاط کنترل می تواند موجب بهبود نتایج حاصل گردد.

* بر اساس نتایج حاصل مبنای مطرح در طراحی نقاط کنترل در فتوگرامتری به معنی عدم نیاز به نقاط مسطحاتی در داخل بلوک و نقاط ارتفاعی تنها در میان نوارهای پرواز مورد تایید قرار گرفته است.

* با توجه به عدم ایده آل بودن ساختار هندسه سه بعدی تصاویر (نسبت پایین باز به ارتفاع) بدیهی است دقت ارتفاعی حاصل از کیفیت کمتری نسبت به دقت مسطحاتی برخوردار می باشد.

* همچنین می توان گفت با توجه به غیر متریک بودن سنجنده های مورد استفاده در این زمینه نقش کالیبراسیون از اهمیت و جایگاه ویژه ای در دستیابی به دقت های مناسب برخوردار است.

مهمترین نتایج بدست آمده از فاز دوم این مطالعه شامل موارد زیر می باشد:

* مهمترین نکته ای که باید به آن توجه شود دقت در انتخاب نقاط کنترل می باشد؛ اگر نقاط کنترل با دقت مناسبی انتخاب شود مدل ما دارای حداقل خطا خواهد بود. البته انتخاب مناسب نقاط کنترل نیز به کیفیت تصویر خام و مرجع وابسته است. به طوری که هر چقدر کیفیت این تصاویر بیشتر باشد ما به نقاط کنترل با دقت بیشتری می توانیم دست پیدا کنیم.

سنجنده‌های دیگر نظیر طولیاب ها نیز می تواند در بهبود این موضوع موثر و کمک کننده باشد.

- با توجه به وجود لرزه های غیر قابل اجتناب که ناشی از وزن کم سکو و رفتار موتور در این سیستم ها می باشد، پایدار کردن محموله اپتیکی در این موارد از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

- در این تحقیق صرفا دوربین هوایی به عنوان محموله فتوگرامتری مورد استفاده قرار گرفت که برای تحقیقات آتی استفاده از دیگر سنجنده ها به خصوص سنجنده های لایدار توصیه می گردد.

- بررسی علت افزایش بیش از حد میزان باقیمانده‌ها برای نقاط ارتفاعی در مقایسه با مقدار باقیمانده ها برای نقاط مسطحاتی.

برخی از پیشنهاداتی که می توان برای فاز دوم تحقیق ذکر کرد شامل:

- استفاده از سایر الگوریتم‌های هوشمند نظیر الگوریتم ژنتیک، کلونی مورچه‌ها و الگوریتم PSO و غیره در مدلسازی این تصاویر و ارزیابی قابلیت‌آن‌ها در مدلسازی.

- ارزیابی الگوریتم های نیمه اتوماتیک و اتوماتیک در استخراج عوارض از این تصاویر.

- تعیین موقعیت آنلاین عوارض با استفاده از تصاویر ویدیویی اخذ شده توسط پهپاد.

- ارزیابی الگوریتم های هوش محاسباتی به منظور یافتن پارامترهای بهینه سلف کالیبراسیون سنجنده.

- ارزیابی مدلسازی توابع چند جمله ای درجه چهارم و توابع کسری درجه دوم.

* نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که متوسط خطای زمین مرجع سازی به بیش از دو تا سه پیکسل تجاوز نمی‌کند.

* تغییر در تعداد و توزیع نقاط کنترل و چک بر دقت مدلسازی به روش تجربی اثر می گذارد.

* در این مطالعه در روش های معمول مدلسازی، ترکیب نقاط بصورت ۳۳ نقطه کنترل و ۱۷ نقطه چک بهترین ترکیب برای مدلسازی نتیجه شده است.

* شبکه های پرسپترون با یک لایه میانی و با تعداد نرون مناسب قادر به مدلسازی هندسی تصاویر هوایی رقومی اخذ شده توسط پهپاد هستند. با استفاده از این مدل ها می توان به دقت مناسبی در نقاط آموزش، اعتبار سنجی و تست، دست یافت.

* با توجه به دقت بدست آمده از مدلسازی به روش تابع چند جمله ای درجه سوم در بهترین حالت ۲۴ سانتی متر برابر با ۲ پیکسل، بنابراین از این تصاویر فقط می توان در روزرسانی نقشه های ۱:۲۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰ استفاده نمود.

* با عنایت به دقت های حاصله در هر دو فاز، شناسایی و تعیین موقعیت دقیق عوارض حاصل می گردد.

۵- پیشنهادات

برخی از پیشنهاداتی که می توان برای فاز اول تحقیق ذکر کرد شامل:

- با توجه به ارتباط مستقیم تعداد نقاط زمینی در روند سرشکنی بلوک استفاده از IMU های با دقت بالا و GPS های دیفرانسیلی به منظور کاهش تعداد این نقاط توصیه می گردد. همچنین به کارگیری هم زمان

مراجع

[۱] صادقیان، سعید، ۱۳۸۱، ارزیابی تصاویر فضایی با قدرت تفکیک بالا به منظور تهیه نقشه های بزرگ مقیاس از دیدگاه فتوگرامتری، مطالعه موردی تصویر پانکروماتیک ژئوآیکونوس ایران، پایان نامه دکتری در رشته مهندسی نقشه برداری- فتوگرامتری، دانشگاه تهران.

[۲] سعیدی، سارا، ۱۳۸۵، ناوبری اتوماتیک سکوها های هوایی بر مبنای مفاهیم بینایی کامپیوتر، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

- [۳] رضانی، میلاد، ۱۳۹۰، امکان سنجی استفاده از وسایل پرواز بدون سرنشین و دوربین های غیر متریک در تولید نقشه های بزرگ مقیاس، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- [۴] معصومی، حمید، ۱۳۹۱، جمع آوری اطلاعات سه بعدی سطح زمین با استفاده از سکوهاى پرنده بدون سرنشین فتوگرامتری، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- [۵] شنکایی، محمد، ۱۳۹۲، تولید سریع مدل رقومی ارتفاعی بر مبنای Optical Flow با استفاده از داده های ویدئو گرامتری هوایی، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده فنی دانشگاه تهران.