

پهپاد

معدنکاری و فناوری‌های نوین

دکتر داریوش کاوه آهنگران، مهندس محمد رضا
نیکزاد، مهندس مهدی مهدی‌زاده، مهندس مجتبی
شمس الدین میگونی
شرکت مهندسان مشاور همپا بهینه

سبب ایجاد اختراقات و نوآوری‌ها در هر زمینه‌ای بوده است. با مطرح شدن علمی جدید در جهان امروز، زمینه‌های استفاده از آن جهت رفع نیاز در عرصه‌های مختلف شناسایی شده و کاربرد آن گسترش می‌یابد. در اینجاست که باید اندیشید که هر فناوری جدیدی چگونه می‌تواند در زمینه‌های دیگر به کار برسد. این سوال در خصوص پهپاد می‌تواند به معدنکاران کمک کند تا با بررسی مجدد نیازها و فرایندهای معدنکاری کاربردهای مختلفی برای این فناوری نوظهور بیابند. امروزه استفاده از پهپاد در معدنکاری در زمینه نقشه‌برداری معادن فراگیر شده و این به دلیل آشنایی نسبی متخصصین نقشه‌برداری با علم فتوگرامتری می‌باشد.

اکثر متخصصین معدن به پیچیدگی عملیات معدنی در تمامی مراحل از اکتشاف و استخراج تا فرآوری و فروش به دلیل وجود مسائل و مشکلات مختلف معدنکاری اذعان دارند.

در هر یک از مراحل مختلف معدنکاری، مسائل مرتبط با اینمنی، فتنی، اقتصادی، محیط زیستی و غیره از اولویت متفاوتی برخوردارند. لذا در

در جوامع در حال توسعه افزایش راندمان تولید به همراه کاهش مخاطرات عملیات یکی از مهمترین اهداف هر یک از بخش‌های تولیدی است که مستلزم پیشرفت تکنولوژی و استفاده از علوم نوین جهت توسعه کسب و کار می‌باشد. معدنکاری نیز از این امر مستثنی نبوده و نیازمند به روزرسانی فناوری‌های مورد استفاده است. تکنولوژی رباتیک یکی از مهمترین دستاوردهای بشر است که با توجه به پتانسیل بالایی که در ایمن‌سازی و بهبود دقت و راندمان انواع فعالیت‌ها دارد، کاربرد آن در معادن در حال شناسایی و توسعه است. پرنده‌های بدون سرنشین^(۱) (UAV) به عنوان یکی از پیشتازان این تکنولوژی با توجه به کاربردهای روزافزون در حال حاضر به سرعت در حال باز نمودن جایگاه خود در بین معدنکاران و صنایع معدنی هستند. در این نوشتار سعی شده با توجه به جایگاه معدنکاری و به خصوص معادن سنگ ترئینی، کاربردهای مهم این فناوری به زبان ساده و علمی برای صاحبان این صنایع معرفی شده و تاثیرات بالای این سامانه‌ها در بهبود راندمان تولید و افزایش منافع اقتصادی تشریح گردد.

۱- پهپاد چیست؟

واژه «پهپاد» مخفف عبارت «پرنده هدایت پذیر از دور» است که به انواع پرنده‌های بدون سرنشین قابل هدایت از دور یا قابل برنامه‌ریزی از قبل اطلاق می‌گردد که در زبان انگلیسی با واژه‌های UAV و Drone شناخته شده است. پهپادها امروزه به طور وسیعی در زمینه‌های مختلف نظامی و غیر نظامی کاربرد دارند. به عنوان مثال می‌توان به تصویربرداری هوایی از مناطق مختلف به خصوص مناطق صعب‌العبور، پی‌جویی مواد معدنی، نظارت بر عملیات اجرایی به صورت زنده، حمل محموله‌های کوچک، تهیه مدل سه بعدی در ابعاد بزرگ و کوچک (مانند تهیه توپوگرافی و یا مدل‌سازی سه بعدی اشیا) و شناسایی مخاطرات محیطی (همچون سیل) به عنوان کاربردهای مهم پهپاد اشاره نمود. این در حالی است که روز به روز کاربردهای جدیدتری برای این فناوری نوظهور در حال معرفی و اجرا می‌باشد.

پهپادها انواع مختلفی دارند که هر کدام برای مقاصد خاصی طراحی شده است. از انواع نظامی بزرگ با قابلیت حمل موشک‌ها گرفته تا انواع غیر نظامی کوچک تجاری که برای تصویربرداری هوایی و یا تفریح و سرگرمی طراحی شده است. پهپادها را می‌توان از نظر نوع پرواز و قابلیت‌های مختلف به انواع پهپادهای بال ثابت و پهپادهای مولتی روتور تقسیم کرد که هر کدام مزایای خود را دارند. در شکل ۱ نمایی از پهپاد بال ثابت و در شکل ۲ پهپادهای مولتی روتور به عنوان نمونه نشان داده شده‌اند.

۲- کاربردهای مختلف پهپاد در معادن

غلبه بر مشکلات و یافتن راه‌های آسان‌تر برای حل مسائل مختلف همواره



شکل ۱- نمونه‌ای از پهپاد بال ثابت senseFly eBee



شکل ۲- نمونه‌هایی از پهپاد مولتی روتور فانتوم ۴ پرو (سمت راست) و ماتریس ۲۱۰ (سمت چپ) شرکت DJI

بعدی بلوک‌های استخراج شده سنگ ساختمانی در ابعاد واقعی و با دقت بالا می‌تواند در محاسبه حجم و حتی در فروش کوب‌های تولید شده کمک شایانی داشته باشد.

۳-۳- ساخت تصاویر قائم^(۳) و تهیه نقشه زمین‌شناسی

مطالعات زمین‌شناسی و پیمایش زمین همواره یکی از مهم‌ترین مراحل اکتشاف معدن است که نیازمند صرف زمان و هزینه زیادی جهت شناسایی مرز بین لایه‌ها و رخنمونها و همچنین بررسی ناپیوستگی‌ها بر روی زمین می‌باشد. با کمک پهپاد می‌توان تصاویر هوایی با کیفیت بالا تهیه کرده و با استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه مانند ArcGIS نقشه زمین‌شناسی اولیه را ساخت. همچنین تصاویر هوایی با قابلیت تفکیک و تمایز رنگ، بافت، شکستگی‌ها و غیره می‌تواند کاربرد گسترده‌ای در درجه‌بندی کیفی سنگ‌های ساختمانی نیز داشته باشد.

برای تهیه نقشه زمین‌شناسی، استفاده از تصاویر هوایی خام که در آن اشیا و ساختارها به صورت پرسپکتیو^(۴) دیده می‌شوند، می‌تواند سبب ایجاد خطأ شود و علاوه بر جابه‌جایی عوارض در نقشه، ممکن است بخشی از عوارض، پشت عوارض دیگر پنهان شوند. در نتیجه با ساخت تصاویری با دید قائم می‌توان از این خطاهای پیشگیری نمود. در شکل ۳ تفاوت تصاویر معمولی (پرسپکتیو) و تصاویر قائم، به صورت شماتیک نشان داده شده است.

با توجه به قدرت تفکیک مکانی بالای تصاویر پهپاد، قدرت تمایز بالای رنگ‌ها (کتراست رنگی) و امکان بررسی یک رخنمون معدنی یا پدیده زمین‌شناسی از زوایای مختلف خصوصاً در نواحی صعب‌العبور، می‌توان از این تصاویر برای شناسایی بصری و تفکیک واحدهای زمین‌شناسی و واحدهای سنگی و همچنین برداشت عوارض و ساختارهای موجود در منطقه مورد مطالعه با کمترین میزان پیمایش صحرایی استفاده نمود. نکته قابل توجه این است که بسیاری از پدیده‌های زمین‌شناسی دارای گستره وسیعی هستند که شناسایی و درک روند آنها با پیمایش زمینی بسیار هزینه‌بر و زمان‌بر خواهد بود و استفاده از تصاویر هوایی می‌تواند کاهش چشمگیری در پیمایش زمینی ایجاد کند؛ به طوری که پس از تهیه نقشه اولیه زمین‌شناسی از روی تصاویر هوایی، می‌توان جهت تکمیل آن و رفع ابهامات احتمالی به پیمایش صحرایی در زمان بسیار کمتر در مقایسه با شرایطی که هیچ نقشه

کاربردهای مطالعه شده جهت استفاده از پهپاد در معادن، به اولویت مسائل مذکور نیز توجه شده است. در ادامه کاربردهای شاخص پهپاد در معدنکاری مورد اشاره و بحث قرار می‌گیرد.

۱-۳- تهیه نقشه‌های توپوگرافی

یکی از مهم‌ترین کاربردهای امروزی پهپادها در معادن تهیه مدل سه بعدی توپوگرافی به روش فتوگرامتری است که علاوه بر افزایش سرعت و دقت برداشت‌ها و بهینه‌سازی هزینه‌ها اطلاعات بیشتری نسبت روش‌های سنتی به کاربران می‌دهد. از جمله این اطلاعات اضافی می‌توان به تصاویر با کیفیتی که در آن‌ها می‌توان جزئیات را با ابعاد در حدود سانتی‌متر تشخیص داد اشاره کرد. این مدل‌ها به کمک زمین‌شناسان و طراحان می‌آید تا با کیفیت بهتری مطالعات خود را انجام دهند. از دیگر مزایای تهیه نقشه‌ها به کمک پهپاد، بحث افزایش ایمنی و دقت و کاهش مخاطرات در مناطق صعب‌العبور، کاهش زمان عملیات زمینی و در نتیجه کاهش هزینه‌ها در قیاس با روش نقشه‌برداری زمینی در تمامی مراحل معدنکاری می‌باشد. عملیات نقشه‌برداری زمینی با روش فتوگرامتری در جدول ۱ مقایسه شده است.

تجربیات نشان می‌دهد در شرایط رقبای امروز، تهیه نقشه توپوگرافی با استفاده از پهپاد فتوگرامتری با مقیاس ۱:۵۰۰ یا ۱:۱۰۰۰ حتی در محدوده‌ای به کوچکی ۱۵ هکتار نیز از نظر اقتصادی برای پیمانکار و کارفرما قابل قبول و معقول است. در محدوده‌های کوچکتر از این نیز چنانچه علاوه بر نقشه توپوگرافی از سایر تولیدات تصاویر هوایی (مانند مدل سه بعدی و تصاویر قائم) استفاده شود، همچنان روش فتوگرامتری با پهپاد مناسب‌تر است. روش هوایی همچنین به طور غیر مستقیم هزینه‌های جانبی عملیات (اعم از اسکان و رفت و آمد تیم نقشه‌برداری) را به طور چشم‌گیری کاهش داده و باز هم می‌تواند به اقتصادی شدن عملیات هوایی نسبت به زمینی بیانجامد.

۲-۳- ساخت مدل سه بعدی واقعی^(۲)

با استفاده از پهپاد مدل‌های سه بعدی واقعی از بخش‌های مختلف معدن ساخته می‌شود، که می‌تواند به پردازش‌های دقیق و کاربردی بیانجامد و نیاز به مراجعه حضوری مدیران، طراحان و ناظران به معدن را کاهش دهد. در این حالت نه تنها خطوط تراز ارتفاعی ایجاد می‌گردد، بلکه یک مدل سه بعدی رنگی با دقت بالا نیز تولید می‌شود. به عنوان مثال ساخت مدل سه

جدول ۱- مقایسه زمان انجام عملیات نقشه‌برداری به روش زمینی و روش استفاده از پهپاد

نقشه‌برداری زمینی	نقشه‌برداری به روش فتوگرامتری
قبول پروژه و تجهیز کارگاه	قبول پروژه و تجهیز کارگاه
۱ تا ۲ روز	۱ تا ۲ روز
برداشت و پردازش نقاط با دوربین	تصویربرداری با پهپاد و برداشت شبکه نقاط کنترل زمینی
۵ تا ۲۰ روز	۱ تا ۲ روز
تهیه نقشه کد خطوط تراز	پردازش تصاویر و تهیه نقشه‌های کد خطوط تراز، ابر نقاط، Ortho
۳ تا ۷ روز	۱ تا ۴ روز
زمان مورد نیاز کل پروژه	زمان مورد نیاز کل پروژه
۱۰ تا ۳۰ روز	۳ تا ۸ روز

اولیه‌ای وجود ندارد، پرداخت (شکل ۴).

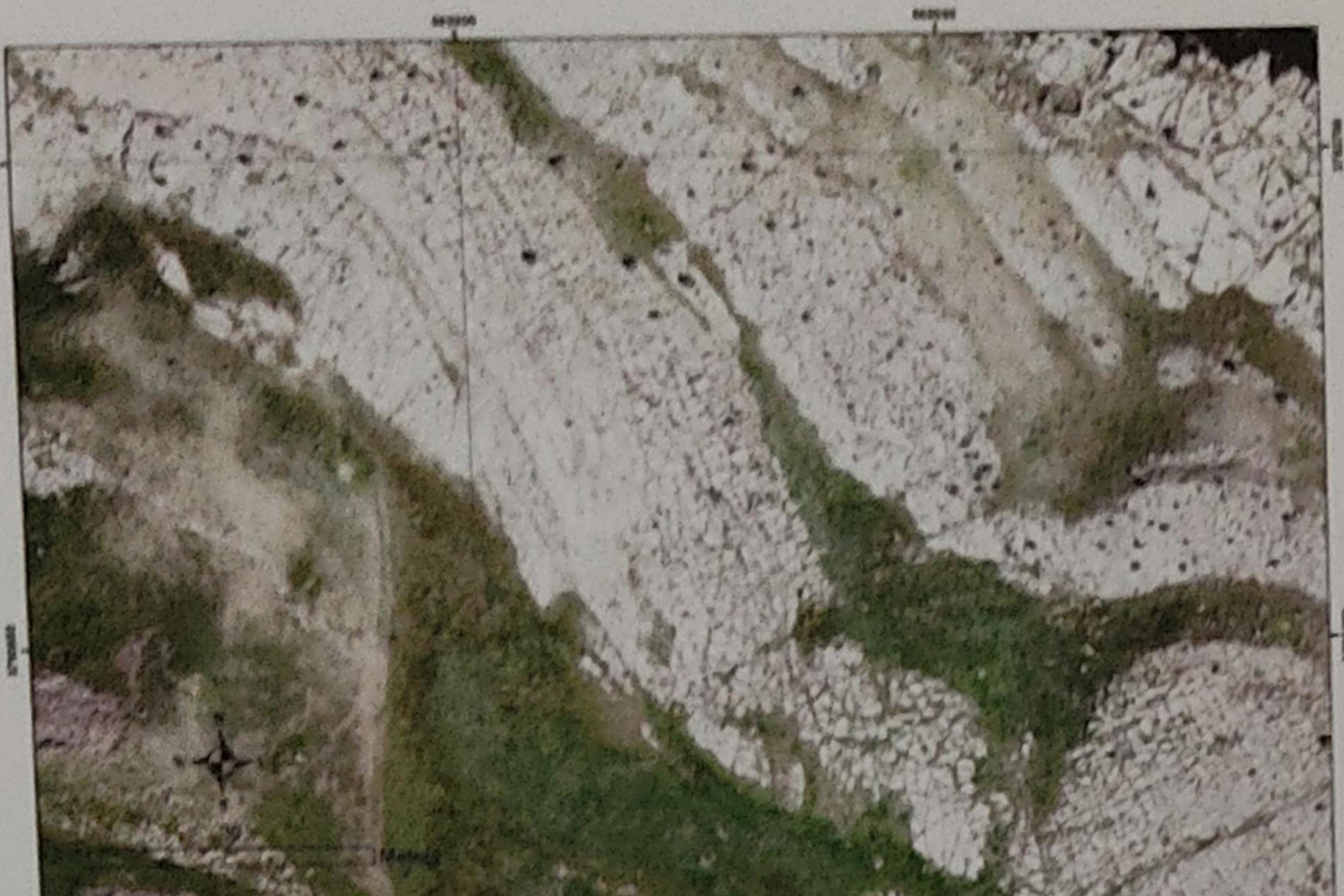
۳-۴- مجوزهای قانونیمعدنکاری

پس از شناسایی اولیه محدوده‌های مستعد برای عملیات اکتشاف میدانی و تفضیلی، یکی از مهمترین و بزرگترین چالش‌های پیش رو، مجوزهای قانونی اعم از منابع طبیعی و سازمان حفاظت محیط زیست است. تصاویر تهیه شده توسط پهپادها می‌توانند تاسیسات یک محدوده اکتشافی یا معدن را با جزئیات بسیار بالا ثبت نمایند. این تصاویر به سادگی قادر خواهند بود نوع و سطح پوشش گیاهی، رودخانه‌ها و آبراهه‌ها، جاده‌های موجود، خطوط انتقال و همچنین وضعیت ریخت‌شناسی در یک محدوده را برداشت و مستند نمایند و تغییرات قبل و بعد و میزان تصرفات و به هم ریختگی سطح زمین را مشخص کنند. هر چند تا کنون از پهپاد برای این کاربری مهم استفاده نشده است، اما شاید در آینده‌ای نه چندان دور با فراگیر شدن قابلیت‌های پهپاد، فرآیند صدور مجوزهای معدنکاری با این روش تسهیل گردد.

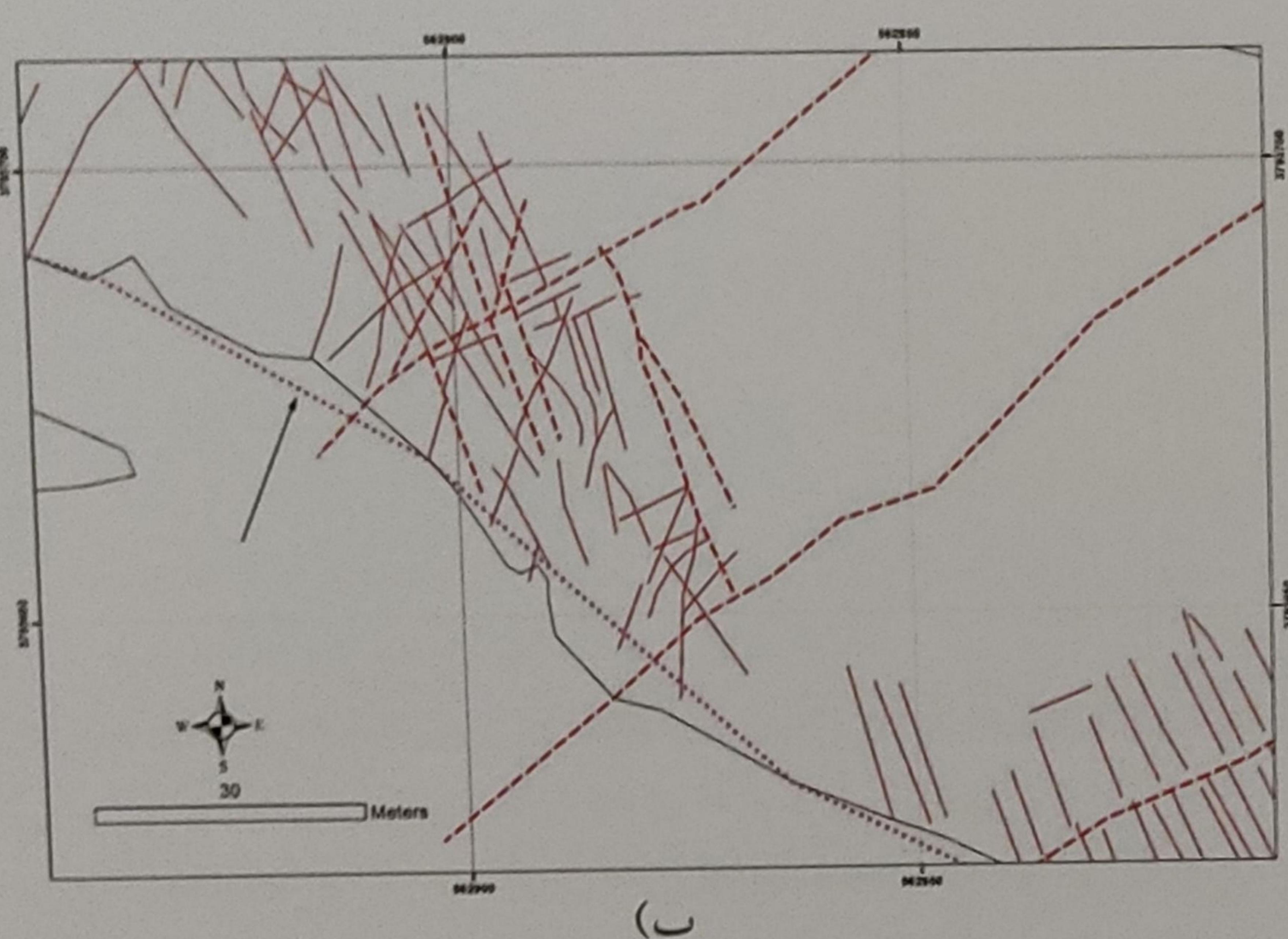
۳-۵- نظارت و پایش

یکی از نیازهای اساسی مدیران معدنی، اطلاع به‌هنگام از وضعیت معدن است. برای این منظور می‌توان با استفاده از پهپاد اطلاعات مورد نیاز را پایش نمود. با در نظر گرفتن کاربردهای روزافزون پهپاد در امور نظارتی و پایش معدن، تعدادی از موارد پیشنهادی در ادامه آمده است:

- ارزیابی پارامترهای مختلف پله‌های معدن
- کسب اطمینان خاطر از حفر چال‌های اکتشافی یا آتشباری در موقعیت‌های از پیش طراحی شده
- بررسی خردایش سنگ پس از عملیات آتشکاری
- نقشه‌برداری و دپومتری با برنامه زمانبندی شده منظم و بهروزرسانی دقیق اطلاعات مربوط به احجام



(الف)



(ب)

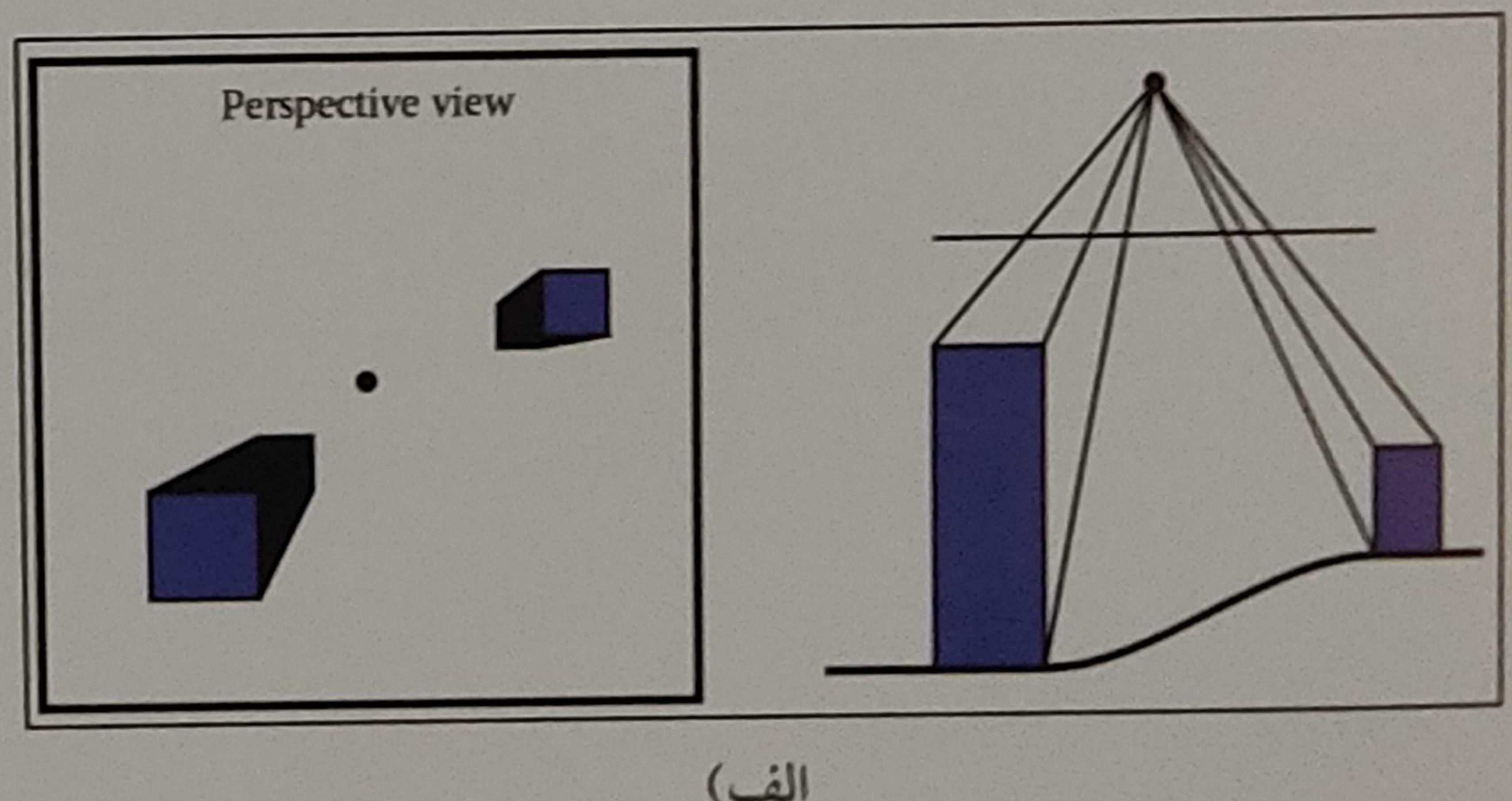
شکل ۴- (الف) تصویر قائم به دست آمده از تصاویر پهپاد، (ب) نقشه زمین‌شناسی اولیه تهیه شده به کمک تصویر قائم

- پایش جابه‌جایی شیب دیواره معدن، بررسی ناپیوستگی‌ها و پیش‌بینی ریزش‌های احتمالی
- نظارت بر عملکرد صحیح ماشین‌آلات و بررسی راندمان کاری
- بررسی پتانسیل خطر در مسیر عبور و مرور ماشین‌آلات و هشدار قبل از بروز حوادث
- برداشت منظم تصاویر و مقایسه آنها به منظور ارزیابی و نظارت مستمر بر کاربری بخش‌های مختلف محدوده معدنی و مناطق پیرامونی با هدف جلوگیری از تخلف و یا تعرض به حریم معدن و یا بروز مشکلات زیست محیطی

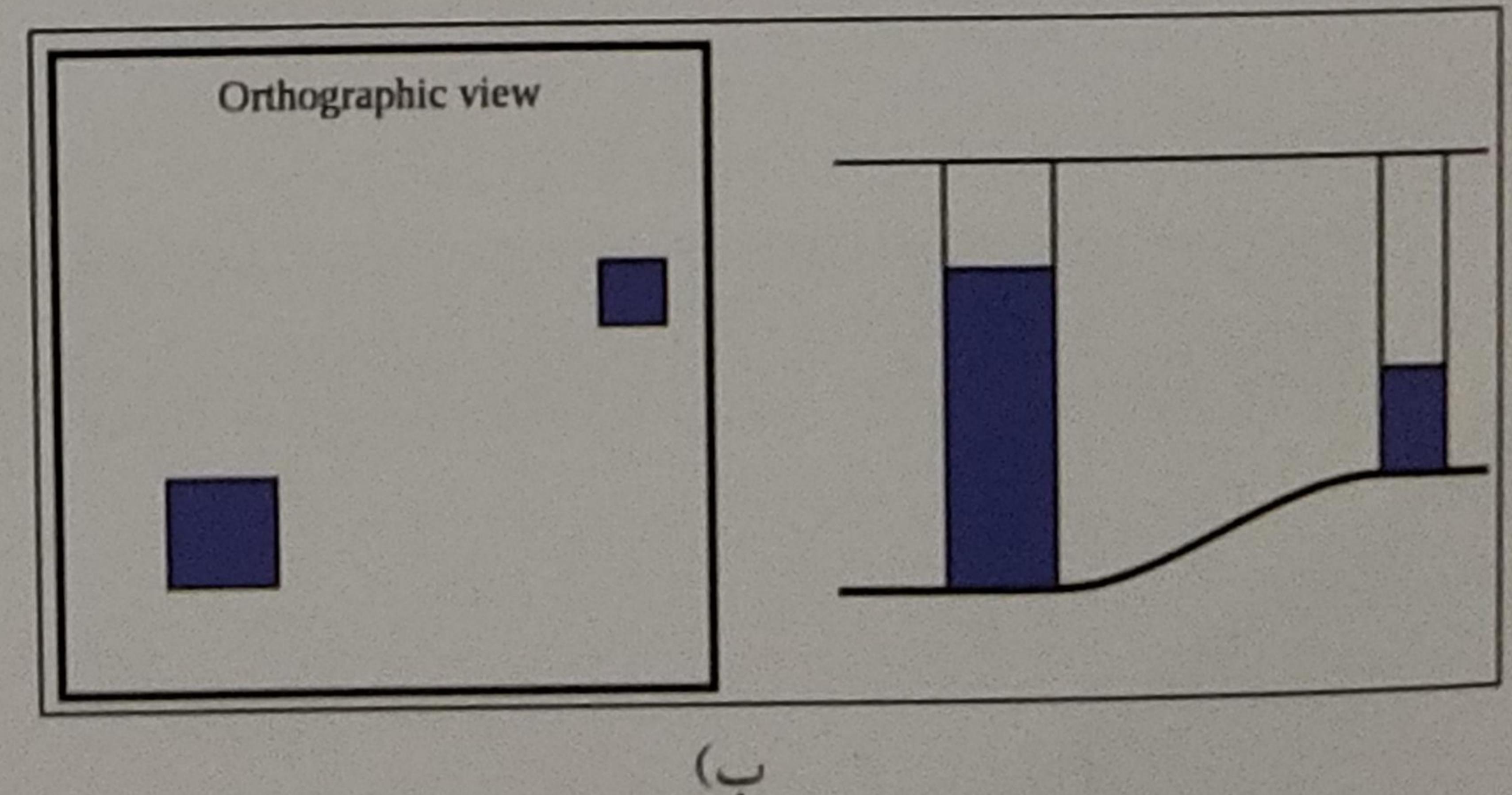
با توجه به موارد فوق و کاربردهای دیگر، می‌توان انتظار داشت با استفاده از پهپاد، سرعت، دقت و تسلط دستگاه نظارت و مدیران بر تمامی امور بصری افزایش یافته و موجب افزایش راندمان کاری و در نتیجه رشد اقتصادی واحدهای استفاده کننده از این فناوری گردد.

۴- محدودیت‌ها

استفاده از پهپاد محدودیت‌هایی نیز دارد که از جمله می‌توان به شرایط جوی (شدت باد در ارتفاعات و یا بارش باران و برف)، پوشیده شدن سطح زمین با برف، پوشش گیاهی (جنگلی)، احتمال هجوم پرنده‌های شکاری، ظرفیت

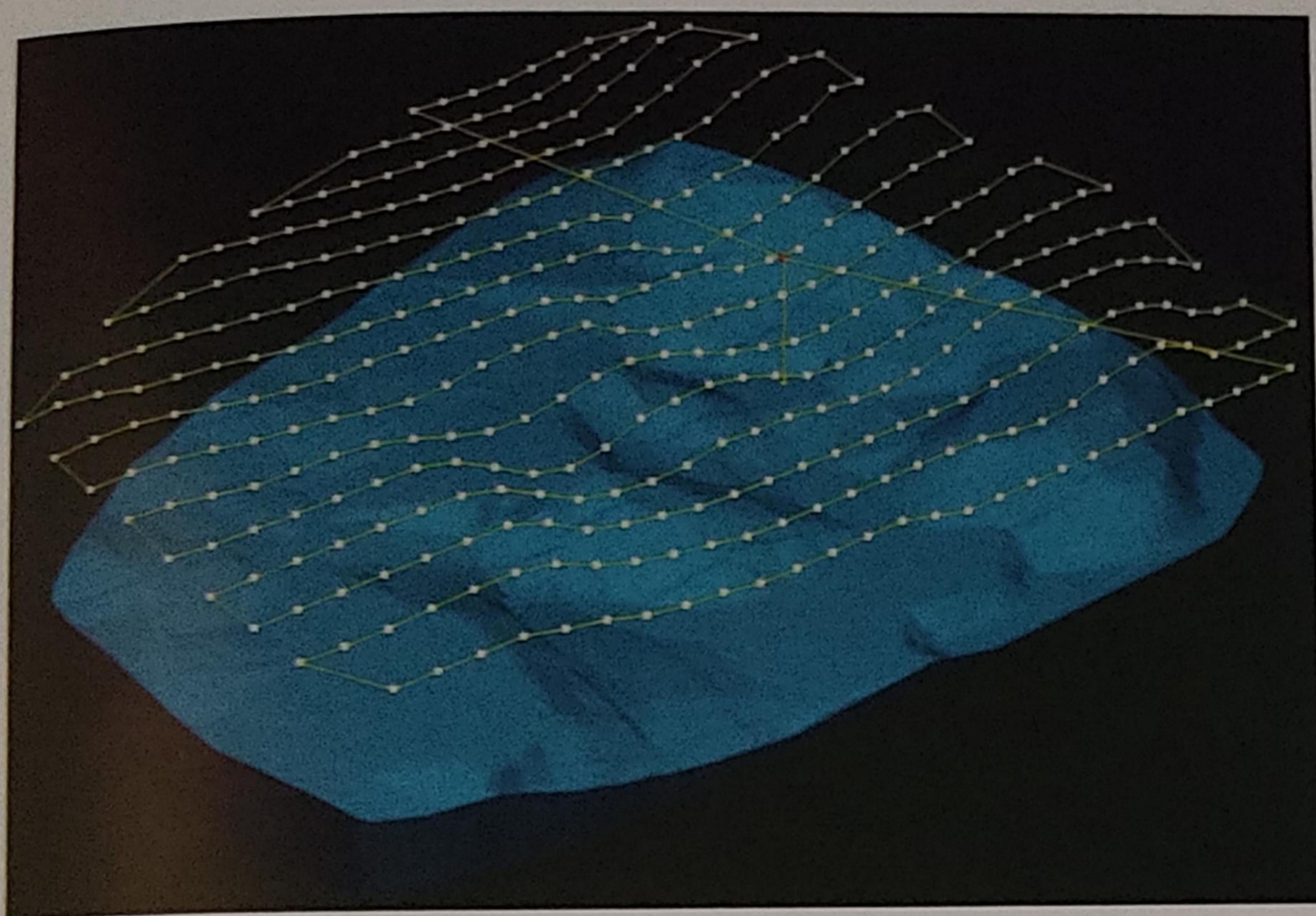


(الف)



(ب)

شکل ۳- (الف) نمای شماتیک تصویر هوایی، (ب) نمای شماتیک تصویر قائم



شکل ۵- نمایی از مسیر پرواز طراحی شده برای یک پروژه اکتشافی

ماشین آلات را از پردازش و تحلیل این تصاویر به دست آورد.

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مطالعه برآوردهای اقتصادی نشان می‌دهد استفاده از سامانه پهپاد فتوگرامتری برای تمامی محدوده‌های معدنی در مقایسه با روش نقشه‌برداری زمینی مقرنون به صرفه بوده و مورد تایید سازمان‌های مرتبط می‌باشد. یکی دیگر از مزایای نسبی استفاده از پهپاد در پروژه‌ها کاهش زمان اجرای عملیات در سایت پروژه است. تجربیات به دست آمده در تهیه نقشه‌ها و مدل‌های سه‌بعدی ایجاد شده توسط تصاویر پهپادی و مقایسه نتایج آن با روش‌های سنتی نشان می‌دهد علاوه بر تجربه و تخصص تیم پهپادی، انتخاب درست نرم‌افزارهای طراحی مسیر پرواز و نرم‌افزارهای پردازش و آنالیز تصویر مناسب و انجام پرواز در ارتفاع ثابت نسبت به توپوگرافی محدوده مورد مطالعه و انجام تصحیحات سیستماتیک لازم در زمان پردازش، کمک شایانی به تهیه نقشه‌ها و مدل‌ها با بهترین دقّت و کیفیت می‌کند. با این حال همان‌طور که ذکر شد، تاکید این پژوهش بر یافتن کاربردهای دیگری برای پهپاد و تصاویر هوایی در معادن می‌باشد که از نقطه نظر اقتصادی می‌تواند استفاده از این سامانه‌ها را در معادن توجیه کند و امید است با پیشرفت تکنولوژی و مدیریت صحیح و همه جانبه، همه افراد درگیر در پروژه‌های معدنی بتوانند فعالیت‌های مربوطه را از به کمک تیم‌های متخصص به صورت امن، سودآور، کارآمد و آگاهانه انجام دهند.

1- Unmanned Aerial Vehicle

2- Realistic 3D Modeling

3- Orthophoto

4- Perspective
5- No Fly Zone

باتری (تعیین کننده مداوت پروازی پهپاد)، نواحی ممنوعیت پروازی^(۵) (NFZ) و هماهنگی‌های لازم با یگان‌های اطلاعاتی در مناطق پرواز محدود اشاره کرد. در اغلب پروژه‌های معدنی با توجه به مدت زمان انجام عملیات و موقعیت معادن، این مشکلات تاثیر چندانی روی پروژه نمی‌گذارند و می‌توان با استفاده از پیش‌بینی‌های نرم‌افزارهای مرتبط که به همین منظور طراحی شده، زمان مناسبی را برای پرواز و تهیه تصاویر تعیین نمود.

۵- انتخاب تجهیزات و طراحی پرواز

هدف و انگیزه تصویربرداری هوایی بر انتخاب تجهیزات و طراحی بهینه پرواز تاثیر گذار است. به عنوان مثال در عملیات فتوگرامتری، ابعاد محدوده مورد مطالعه و همچنین مقیاس نقشه مورد نیاز بر انتخاب نوع پهپاد و ارتفاع پرواز موثر است؛ بدین صورت که در محدوده‌های با وسعت چندین کیلومتر مربع مانند پهنه‌های اکتشافی، عمدها استفاده از پهپاد بال ثابت مقرن به صرفه‌تر از پهپادهای مولتی روتور است ولی مقیاس مورد نیاز نقشه‌ها تعیین کننده کیفیت دوربین، پهپاد و ارتفاع پروازی مورد نیاز است. جدول ۲ رابطه بین مقیاس نقشه و وضوح تصویر را طبق دستورالعمل نظارت و کنترل فنی نقشه‌ها و اطلاعات مکانی تهیه شده با استفاده از پهپاد، سازمان برنامه و بودجه کشور نشان می‌دهد. در معادن در حال بهره‌برداری که غالباً وسعت آنها در کشور حداقل به چند هکتار محدود می‌شود، استفاده از پهپاد مولتی روتور با توجه به قابلیت انعطاف بیشتر در تغییر ارتفاع پرواز، هدایت پذیری بیشتر و عدم نیاز به باند در مقایسه با پهپاد بال ثابت، توجیه بیشتری دارد. همین انعطاف و هدایت پذیری پهپادهای مولتی روتور، ارجحیت استفاده از این نوع پرنده‌ها را در زمینه کاربردهای نظارتی اثبات می‌کند.

پس از انتخاب پرنده مناسب و بررسی اولیه منطقه، طراحی پرواز به کمک نرم‌افزارهای مربوطه انجام می‌شود؛ در حالی که تجربه و تخصص تیم پهپادی شامل خلبان، طراح پرواز و نقشه‌بردار، در طراحی بهینه مسیر پرواز و اجرای دقیق عملیات نقش موثرتری از نرم‌افزار دارند. شکل ۵ نمایی از مسیر طراحی شده در یکی از پروژه‌های اکتشافی شرکت مهندسان مشاور همپا بهینه در غرب کرمانشاه را نشان می‌دهد که همپوشانی ۸۵ درصدی در این طراحی لحاظ شده است. در این شکل خطوط زرد رنگ مسیر پرواز، نقاط سفید رنگ بیانگر موقعیت‌های عکس‌برداری و سطح آبی رنگ، توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه می‌باشد.

با توجه به هدف مورد نظر، پس از انجام عملیات پرواز، باید تصاویر بدست آمده پردازش شده و محاسبات بعدی روی آنها انجام پذیرد. به عنوان مثال در بحث نظارت ماشین‌آلات پس از بررسی فیلم و تصاویر تهیه شده، می‌توان پارامترهای مورد نیاز از قبیل سرعت، موقعیت و راندمان کاری

جدول ۲- ابعاد وضوح تصاویر مناسب با مقیاس و فاصله منحنی تراز نقشه

حداکثر اندازه وضوح تصویر (سانتی‌متر)	حداقل اندازه وضوح تصویر (سانتی‌متر)	منحنی تراز (متر)	مقیاس نقشه
۲۰	۱۵	۲	۱:۲۰۰۰
۱۵	۱۰	۱	۱:۲۰۰۰
۱۰	۵	۰/۵	۱:۱۰۰۰
۵	۳	۰/۵	۱:۵۰۰