



گزارش درس مکاترونیک، مقطع کارشناسی ارشد مهندسی مکاترونیک

**پروژه تصاویر هوایی جهت پیدا کردن مسیرهای بین گیاهان در زمین کشاورزی با هدف مسیریابی موبایل  
ربات و ارسال مختصات نقاط مسیر برای موبایل ربات و پیاده سازی روی برد سخت افزاری**

تهیه کننده:

علیرضا امیری

استاد درس:

دکتر سعید خان کلانتری

تیر ماه ۱۴۰۳



الحمد لله الذي  
خلقنا من  
الحمم



### چکیده

پروژه‌ای در زمینه مهندسی مکاترونیک به منظور تشخیص ردیف‌های محصولات زراعی اجرا شده است. این پروژه شامل نصب یک دوربین برای گرفتن تصاویر هوایی، طراحی سیستم انتقال و دریافت برای به دست آوردن تصاویر دوربین و توسعه نرم‌افزار جامع پردازش تصویر می‌باشد. در ابتدا، این نرم‌افزار تصاویر را به دسته‌های گیاه و غیرگیاه با استفاده از فیلترهای رنگی و سپس الگوریتم خوشه‌بندی K-means تقسیم می‌کند. در مرحله بعد، از تبدیل هاف برای تطبیق خطوط به هر ردیف استفاده می‌شود. سپس مسیر بین ردیف‌ها تعریف شده و نقاطی در مسیر مشخص می‌گردد. این نقاط به سیستم مختصات جهانی تبدیل می‌شوند تا بعدها توسط ربات‌های متحرک که نیاز به داده‌های مختصات برای ناوبری دارند، استفاده شوند. همچنین یک نرم‌افزار مبتنی بر رابط کاربری گرافیکی (GUI) توسعه داده شده تا فرآیند را مدیریت کرده و نتایج را به تصویر بکشد. این نرم‌افزار با هدف بهبود دقت و کارایی در کشاورزی مدرن طراحی شده و توانایی شناسایی دقیق ردیف‌های محصولات و مسیرهای بین آنها را داراست. استفاده از سیستم مختصات جهانی به ربات‌های کشاورزی امکان می‌دهد تا با دقت بالا به ناوبری و اجرای وظایف خود بپردازند، که این امر به افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها در کشاورزی هوشمند منجر می‌شود.

کلید واژه: Crop Row Detection, Aerial Image, Image Segmentation



## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست شکل‌ها .....	۵
<b>فصل ۱- مقدمه ۶</b>	
<b>فصل ۲- روش شناسی.....۸</b>	
۲-۱- تصویربرداری هوایی .....	۸
۲-۱-۱- دوربین تصویربرداری.....۸	
۲-۲- ارسال و دریافت تصاویر .....	۱۰
۲-۲-۱- فرستنده ۱۰	
۲-۲-۲- گیرنده ۱۱	
۲-۲-۳- مبدل AV به USB.....۱۲	
۲-۲-۴- دریافت اطلاعات در کامپیوتر و آماده‌سازی برای استفاده در پردازش تصویر.....۱۳	
۲-۲-۵- اتصالات مدار.....۱۳	
۲-۳- پردازش تصویر .....	۱۴
۲-۴- پیش‌پردازش تصویر .....	۱۵
۲-۴-۱- استفاده از پیش‌پردازش و اعمال الگوریتم KMEANS.....۱۵	
۲-۴-۲- استفاده از شبکه‌های هوش مصنوعی.....۱۷	
۲-۵- پردازش تصویر .....	۱۹
۲-۵-۱- پیدا کردن ردیف محصولات.....۲۰	
۲-۵-۲- پیدا کردن مسیر میان محصولات.....۲۳	
۲-۵-۳- پیدا کردن نقاط بر روی مسیر.....۲۳	
۲-۶- تبدیل مختصات محلی به مختصات جهانی .....	۲۴
۲-۶-۱- تبدیل موقعیت پیکسل در به مختصات جهانی.....۲۴	
۲-۶-۲- دریافت اطلاعات مختصات جهانی پرده.....۲۵	
۲-۷- ارسال تصاویر برای گیرنده .....	۲۶
۲-۸- طراحی نرم‌افزار برای تشخیص مختصات مسیر از تصاویر هوایی .....	۲۶
۲-۹- تست عملیاتی پژوهش .....	۲۸

۱۰-۲- پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی ..... ۳۰

فهرست مرجع‌ها..... ۳۱



## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۱	شکل ۱ ماژول فرستنده TX51W.....
۱۲	شکل ۲ ماژول گیرنده RC805.....
۱۲	شکل ۳ AV TO USB CONVERTER.....
۱۳	شکل ۴ پین‌های دستگاه گیرنده.....
۱۴	شکل ۵ اتصالات دوربین و فرستنده.....
۱۶	شکل ۶ نمونه‌ی پیش‌پردازش تصویر.....
۱۷	شکل ۱۷ اجرای الگوریتم KMEANS.....
۱۸	شکل ۸ کارکرد نامناسب پردازش تصویر به روش الگوریتمیک.....
۱۸	شکل ۹ مقایسه‌ی مدل‌ها و شبکه‌های پردازش تصویر برای شناسایی محصولات [۳].....
۱۹	شکل ۱۰ نتایج ناموفق شبکه‌ی UNET.....
۲۱	شکل ۱۱ خروجی ابتدایی تشخیص ردیف محصولات با استفاده از روش خوشه‌بندی.....
۲۱	شکل ۱۲ عملکرد بهبود یافته تشخیص ردیف محصولات با استفاده از روش خوشه‌بندی.....
۲۱	شکل ۱۳ تشخیص ردیف محصولات با استفاده از روش خوشه‌بندی.....
۲۲	شکل ۱۴ تشخیص ابتدایی ردیف محصولات با استفاده از تبدیل هاف.....
۲۲	شکل ۱۵ تشخیص نهایی ردیف محصولات با استفاده از تبدیل هاف.....
۲۳	شکل ۱۶ پیدا کردن مسیر میان ردیف محصولات.....
۲۳	شکل ۱۷ تعیین نقاط بر روی مسیر.....
۲۵	شکل ۱۸ اثبات محاسبه‌ی مختصات جهانی.....
۲۶	شکل ۱۹ اتصالات ماژول GPS.....
۲۸	شکل ۲۰ نمایش خروجی‌های برنامه در صفحه‌ی وب.....
۲۹	شکل ۲۱ چیدمان سخت‌افزاری پژوهش.....
۳۰	شکل ۲۲ تست سخت‌افزاری پژوهش.....

## فصل ۱ - مقدمه

نصب دوربین برای گرفتن تصاویر هوایی یکی از مراحل کلیدی در کشاورزی هوشمند است که به کشاورزان اجازه می‌دهد وضعیت مزارع خود را به‌طور دقیق و در زمان واقعی نظارت کنند. پهپادها به دلیل قابلیت پرواز خودکار و دوربین‌های با کیفیت بالا، امکان گرفتن تصاویر دقیق از زوایای مختلف و در ارتفاعات متنوع را فراهم می‌کنند. این تصاویر هوایی به‌طور معمول برای نظارت بر رشد گیاهان، شناسایی نواحی مشکل‌دار و تخمین محصول مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های دیگری نیز برای گرفتن تصاویر هوایی وجود دارند، از جمله استفاده از تصاویر ماهواره‌ای که اطلاعات کلی و گسترده‌ای ارائه می‌دهند اما دقت کمتری نسبت به پهپادها دارند. همچنین، می‌توان از بالون‌های هوایی استفاده کرد که هزینه کمتری دارند اما کنترل آنها دشوارتر است. دوربین‌های نصب شده بر روی ماشین‌آلات کشاورزی نیز می‌توانند به‌طور مداوم و در حین کار ماشین‌آلات، تصاویر را ضبط کرده و به‌طور خودکار به سرور منتقل نمایند.

با تهیه تصاویر هوایی، مرحله بعدی طراحی سیستم انتقال و دریافت تصاویر است. این سیستم‌ها باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که تصاویر با کمترین تاخیر و بهترین کیفیت به مرکز پردازش منتقل شوند. شبکه‌های بی‌سیم (Wi-Fi) معمولاً برای انتقال داده‌ها در فواصل کوتاه مناسب هستند. علاوه بر این، شبکه‌های موبایلی (G/5G۴) برای انتقال داده‌ها در فواصل بلندتر و با سرعت بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند و رادیو فرکانس (RF) برای انتقال داده‌ها در محیط‌های باز و دوردست بدون نیاز به زیرساخت‌های پیچیده کاربرد دارند. دیگر روش‌های متداول شامل استفاده از شبکه‌های ماهواره‌ای است که امکان انتقال داده‌ها از مناطق دورافتاده و بدون پوشش شبکه موبایلی را فراهم می‌کنند. همچنین، انتقال داده‌ها از طریق فیبر نوری، که اگرچه نیاز به زیرساخت دارد اما انتقال داده‌ها با سرعت بسیار بالا و بدون تاخیر را ممکن می‌سازد، یکی دیگر از روش‌های معمول است.

پس از انتقال تصاویر به مرکز پردازش، نوبت به پردازش تصویر می‌رسد. در این مرحله، تصاویر به کمک الگوریتم‌های مختلف پردازش می‌شوند تا بخش‌های گیاهی و غیرگیاهی از هم تمایز داده شوند. ابتدا از

فیلترهای رنگی استفاده می‌شود تا مناطق گیاهی و غیرگیاهی بر اساس تفاوت‌های رنگی شناسایی شوند. سپس الگوریتم‌های خوشه‌بندی مانند K-means به کار گرفته می‌شوند تا مناطق مختلف تصویر به دسته‌های همگن تقسیم شوند. دیگر روش‌های رایج شامل استفاده از الگوریتم‌های یادگیری عمیق (Deep Learning) هستند که با آموزش مدل‌های شبکه عصبی می‌توانند دقت بالاتری در شناسایی و تفکیک مناطق گیاهی و غیرگیاهی داشته باشند. روش‌های مبتنی بر تحلیل بافت (Texture Analysis) نیز می‌توانند به شناسایی الگوهای خاص در تصاویر کمک کنند. همچنین، استفاده از روش‌های تفکیک‌پذیری طیفی (Spectral Unmixing) که می‌توانند تفاوت‌های ظریف رنگی و نوری در تصاویر را شناسایی کنند، در این زمینه مؤثر هستند.

در ادامه این فرآیند، برای تطبیق خطوط به هر ردیف از تبدیل هاف استفاده می‌شود. این روش به شناسایی و استخراج خطوط راست در تصویر کمک می‌کند و به این ترتیب، خطوط ردیف‌های محصولات کشاورزی مشخص می‌شوند. با این حال، روش‌های دیگری نیز برای تطبیق خطوط وجود دارند. یکی از این روش‌ها استفاده از الگوریتم‌های کانتور (Contour Detection) است که به شناسایی و دنبال کردن لبه‌های اشیاء در تصاویر کمک می‌کند. الگوریتم‌های تشخیص لبه (Edge Detection) مانند الگوریتم کانی (Canny) نیز می‌توانند به شناسایی خطوط و لبه‌های باریک در تصاویر کمک کنند. روش‌های مبتنی بر تحلیل هارمونی (Hough Transform for Circles) نیز برای شناسایی الگوهای دایره‌ای و منحنی‌ها در تصاویر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در نهایت، توسعه یک نرم‌افزار مبتنی بر رابط کاربری گرافیکی (GUI) نیز بخشی از این پروژه است. این نرم‌افزار به کاربران امکان می‌دهد تا فرآیند پردازش تصویر را مدیریت کرده و نتایج را به صورت بصری مشاهده کنند. علاوه بر این، نرم‌افزارهای مشابه معمولاً دارای قابلیت‌هایی مانند تجزیه و تحلیل داده‌ها و ایجاد گزارش‌های تصویری هستند. استفاده از ابزارهای مدرن توسعه نرم‌افزار مانند فریم‌ورک‌های وب (Web Frameworks) برای ایجاد رابط‌های کاربری تعاملی و زیبا، یکی دیگر از روش‌های رایج است. همچنین، می‌توان از تکنولوژی‌های موبایل برای توسعه اپلیکیشن‌های قابل حمل و قابل دسترسی در هر زمان و مکان استفاده کرد. ابزارهای توسعه نرم‌افزارهای مبتنی بر واقعیت افزوده (AR) نیز می‌توانند تجربه کاربری بهتری را فراهم کنند و اطلاعات مربوط به مزارع را به صورت زنده و تعاملی نمایش دهند. به این ترتیب، کل فرآیند از جمع‌آوری داده‌های تصویری تا تحلیل و نمایش نتایج به شکلی یکپارچه و هماهنگ انجام می‌شود که به بهبود دقت و کارایی در کشاورزی مدرن منجر خواهد شد.

## فصل ۲- روش شناسی

در این بخش، به توضیح ساختار سیستم تصویربرداری هوایی، ارسال و دریافت تصاویر توسط کامپیوتر، الگوریتم پردازش تصویر، تبدیل مسیر به قالب مختصات و ارسال مختصات به موبایل ربات خواهیم پرداخت.

### ۲-۱- تصویربرداری هوایی

استفاده از تصاویر هوایی، راهکار بهینه‌ای به منظور دستیابی به اطلاعات گسترده‌ی بزرگی از زمین در قالب یک عکس می‌باشد و به منظور تهیه‌ی تصاویر مورد نیاز برای پردازش‌های این پژوهش، این روش گزینه‌ی مناسبی می‌باشد. انتخاب دوربین مناسب برای این کار، بخشی حیاتی از انجام پژوهش است که باید با در نظر گرفتن ویژگی‌های اساسی این پژوهش، انتخاب شوند.

#### ۲-۱-۱- دوربین تصویربرداری

##### ۲-۱-۱-۱- ویژگی‌های دوربین مورد نیاز

#### ۱. سبکی دوربین

با توجه به محدودیت حمل بار توسط کوادکوپترها، وزن اجسام الحاقی به پرنده از اهمیت بالایی برخوردار است و در صورتی که وزن محموله‌ها بیش از حد مجاز باشند، می‌توانند در فرایند پرواز اختلال و مشکل ایجاد کنند و ادامه‌ی فرایند را با دشواری همراه سازند. بنابراین انتخاب دوربینی که وزن مناسبی داشته باشد انتخابی مهم در این پژوهش است

#### ۲. کیفیت تصاویر

در تصاویر هوایی، با ارتفاع گرفتن پرنده محدوده‌ی بزرگی از محیط را می‌توان در یک قاب پوشش داد. در این شرایط، حفظ کیفیت مناسب تصاویر از اهمیت زیادی برخوردار خواهد بود. بنابراین دوربین انتخاب شده

برای این پژوهش، باید از کیفیت مناسبی برخوردار باشد تا در مراحل بعد، الگوریتم‌های پردازش تصویر بتوانند اطلاعات لازم را از این تصاویر دریافت کنند

### ۳. قابلیت‌های ارتباطی و ارسال تصاویر

به دلیل تصویربرداری در ارتفاع و مسافت‌های زیاد توسط پرنده، ارسال و مخابره‌ی برخط تصاویر بخشی جدایی‌ناپذیر از این پژوهش است. بنابراین دوربین انتخاب شده برای اجرای این مأموریت باید از قابلیت‌های ارتباطی بی‌سیم نظیر ارتباط وای‌فای، و همچنین ارتباط رادیویی برای مسافت‌های دورتر را داشته باشد.

#### ۲-۱-۱-۲ - گزینه‌های موجود برای انتخاب دوربین

با بررسی مقالات مربوط در این زمینه، مشاهده شد که دوربین‌های متفاوتی در اجرای پژوهش‌های مشابه مورد استفاده قرار گرفته‌اند که در لیست زیر، نام این دوربین‌ها را مشاهده می‌کنیم.

۱. Sequia Camera [1, 2]

۲. Red Edge Camera [1]

۳. Micasense Altum [3]

۴. DJI Zenmuse X7 [3]

۵. GoPro Hero4

۶. PixyCam

با بررسی هر یک از دوربین‌های ذکر شده در این لیست و مقایسه‌ی ویژگی‌های آنها با موارد مورد نیاز این پژوهش، مشاهده شد که دوربین‌های Sequia و RedEdge در پژوهش‌های مشابه مورد استفاده‌ی زیادی قرار گرفته‌اند. از مزیت‌های این دوربین‌ها، در اختیار داشتن کانال‌های RGB و NIR می‌باشد. همچنین دوربین Pixycam از نظر سبک بودن بر سایر دوربین‌ها ارجحیت دارد، اما سخت بودن ارتباط از راه دور با آن باعث می‌شود که برای این پژوهش مناسب نباشد.

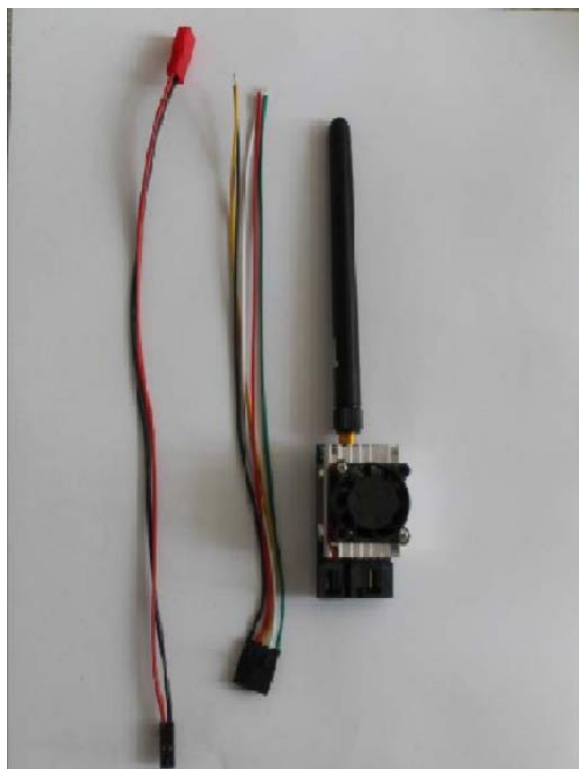
در نهایت، دوربین GoPro Hero4 که تصاویر RGB را با کیفیت بسیار بالایی دریافت می‌کند و به وسیله‌ی کانال‌های WIFI و ورودی USB mini قابلیت ارتباط با فرستنده‌ها را هم دارد به عنوان دوربین اصلی این پژوهش انتخاب شده و مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که این دوربین فاقد کانال NIR می‌باشد، اما با طراحی در بخش پردازش تصویر و بررسی مدل‌های مختلف که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد، نیازی به اطلاعات این کانال نخواهد بود.

## ۲-۲- ارسال و دریافت تصاویر

همانطور که پیش از این توضیح داده شد، برای دریافت تصاویر تهیه شده توسط دوربین، به دلیل مسافت زیادی که دوربین با کامپیوتر خواهد داشت، نیازمند یک پروتکل ارتباطی بدون سیم هستیم. در فواصل نزدیک، می‌توان از ارتباط WIFI استفاده کرد، اما با در نظر گرفتن ابعاد کاری کوادکوپتر و در کاربردهایی مانند تصویربرداری از مزارع، فواصل بیش از محدوده‌ی پوشش شبکه‌ی WIFI هستند و بنابراین، نیاز طراحی و ساخت یک پروتکل ارتباط رادیویی خواهیم داشت.

### ۲-۲-۱- فرستنده

فرستنده، وظیفه‌ی دریافت اطلاعات از دوربین و ارسال آن بر گیرنده را بر عهده خواهد داشت. از ویژگی‌های مورد نیاز برای یک ماژول فرستنده وزن کم، توان مصرفی پایین و برد ارسال اطلاعات بالا می‌باشد. ماژولی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت، ماژول TX51W می‌باشد. این ماژول با ولتاژ کاری 7-15V قادر است ویدیو و صوت را با استفاده از کابل USB mini از دوربین دریافت کرده و بر روی ۸ کانال فرکانسی مخابره کند. تغذیه‌ی این ماژول در تست‌های عملیاتی توسط باتری کوادکوپتر و در تست‌های آزمایشگاهی به وسیله‌ی آداپتور 9V انجام می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱ ماژول فرستنده TX51W

## ۲-۲-۲- گیرنده

گیرنده‌ی رادیویی وظیفه‌ی دریافت داده‌های مخابره شده توسط فرستنده را بر عهده دارد. این گیرنده باید بتواند کانال‌های فرکانسی منطبق با فرستنده را به طور کامل پوشش دهد. در این پژوهش، از ماژول RC805 استفاده شده است که با ولتاژ کاری 6.5-12V قادر است اطلاعات را دریافت و در خروجی با استفاده از پروتکل ارتباطی AV به کامپیوتر انتقال دهد (شکل ۲).



شکل ۲ ماژول گیرنده RC805

## ۲-۲-۳- مبدل AV به USB

از آنجا که خروجی گیرنده از نوع AV است و بخش زیادی از لپتاپ‌های امروزی درگاهی برای این ورودی ندارند، لازم است از یک مبدل AV به USB به منظور تبدیل اطلاعات به شکلی قابل دریافت برای لپتاپ استفاده شود. در این پژوهش، از یک مبدل EasyCam استفاده شده است (شکل ۳)



شکل ۳ AV to USB Converter

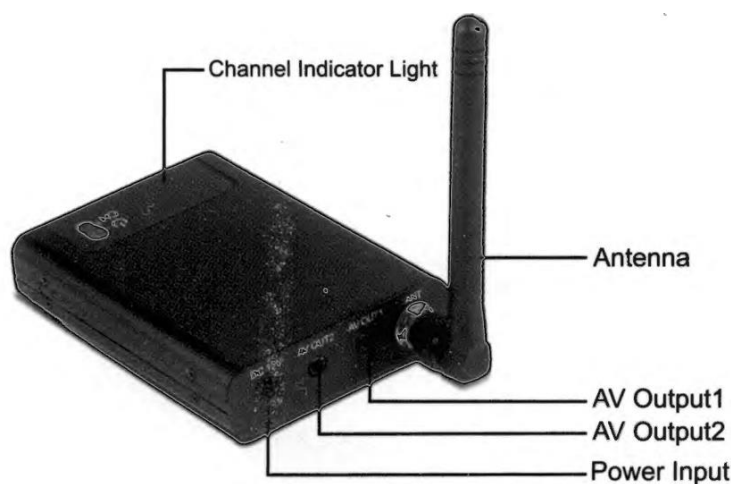


## ۲-۲-۴- دریافت اطلاعات در کامپیوتر و آماده‌سازی برای استفاده در پردازش تصویر

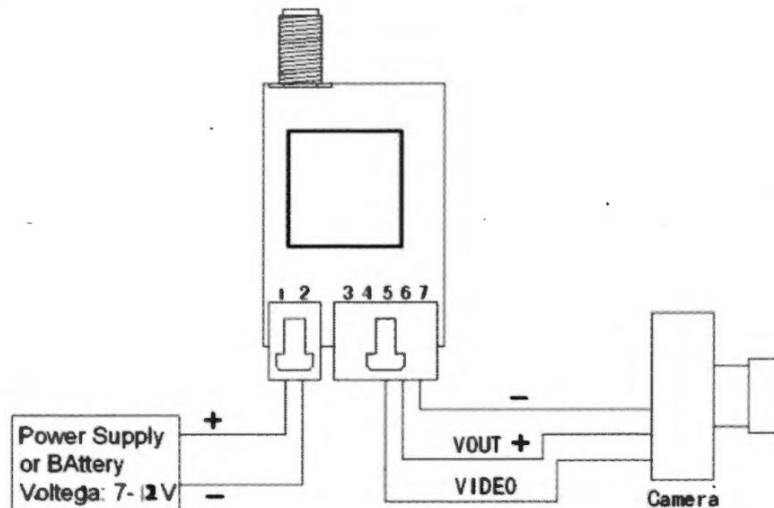
پس از دریافت اطلاعات از درگاه USB، نیاز به نرم‌افزاری برای نمایش جریان تصویر و صوت در گام اول و سپس تبدیل این جریان اطلاعات به قالبی قابل استفاده در برنامه‌ی پردازش تصویر داریم. با بررسی‌های انجام شده در این مورد، با استفاده از نرم‌افزار OBS Studio می‌توانیم این نیاز را برطرف کنیم. در این نرم‌افزار که خود به منظور Video Capturing طراحی شده است، می‌توانیم با تعریف مبدل AV2USB به عنوان یک منبع اطلاعاتی جدید تصاویر آن را دریافت کرده و نمایش دهیم و سپس با تعریف یک دوربین مجازی (Virtual Camera) برای کامپیوتر، از این تصاویر در بخش‌های پردازش تصویر استفاده کنیم.

## ۲-۲-۵- اتصالات مدار

برای راه‌اندازی مدار مخابراتی ارسال و دریافت تصاویر از دوربین، از یک منبع تغذیه‌ی 12V به منظور تامین ولتاژ تغذیه‌ی فرستنده و گیرنده، یک کابل USB mini جهت اتصال دوربین به فرستنده و یک کابل AV برای اتصال گیرنده به مبدل استفاده شده است. شماتیک اتصالات این مدار در شکل ۳، شکل ۴ و شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۴ پین‌های دستگاه گیرنده



شکل ۵ اتصالات دوربین و فرستنده

## ۲-۳- پردازش تصویر

پردازش تصویر مهم‌ترین بخش این پژوهش برای دستیابی به هدف آن می‌باشد. با دریافت آنی و برخط تصاویر هوایی از باغ‌ها و مزارع، باید این تصاویر توسط الگوریتم و مدل‌هایی پردازش شده تا در نهایت، بتوانیم مسیر میان محصولات را تشخیص دهیم.

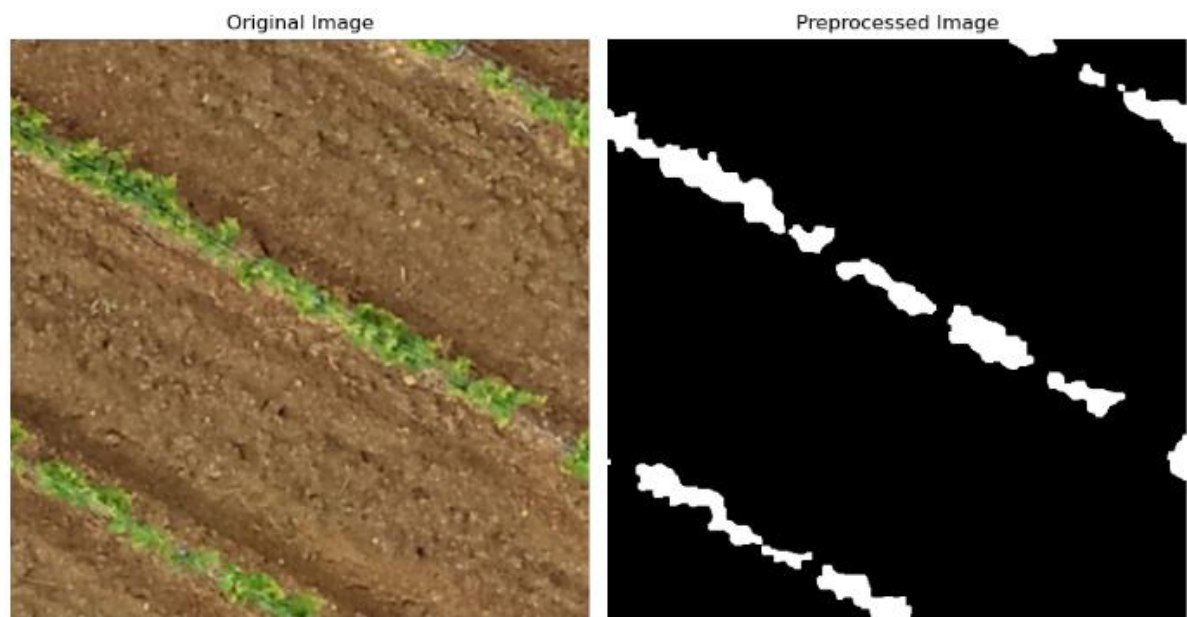
در این بخش، به توضیح فرایند پیش‌پردازش تصویر، بهبود تصاویر به وسیله الگوریتم Kmeans، تشخیص ردیف محصولات، تشخیص مسیر میان محصولات و در نهایت مشخص کردن نقاطی بر روی مسیر میان محصولات می‌پردازیم

## ۲-۴- پیش‌پردازش تصویر

### ۲-۴-۱- استفاده از پیش‌پردازش و اعمال الگوریتم KMEANS

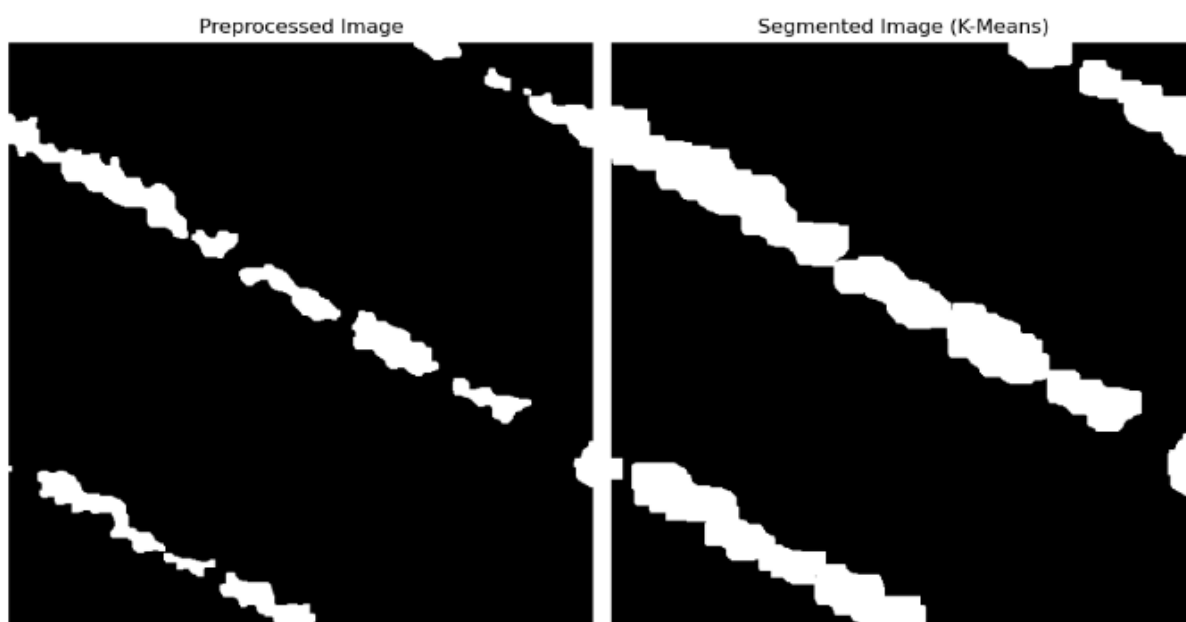
پس از خواندن تصویر هوایی در محیط نرم‌افزار، تبدیل‌ها و فیلترهایی بر آن اعمال می‌شود تا قسمت‌هایی که محصولات در آن حضور دارند مشخص‌تر شود. مهم‌ترین مشخصه‌ی محصولات کشاورزی، حضور رنگ سبز در آنها است و با فیلتر کردن این محدوده‌ها می‌توانیم با تقریب خوبی موقعیت محصولات را شناسایی کنیم. ساده‌ترین روش برای این کار حذف کانال‌های آبی و قرمز از تصویر دریافتی و سپس تعریف مقدار کمینه‌ای از رنگ سبز در پیکسل‌ها می‌باشد. اما به دلیل بروز مشکلات احتمالی، مانند حضور طیف‌های مختلفی از رنگ سبز در پس‌زمینه‌ی تصویر، مانند چمن، و همچنین به دلیل حذف نشدن پیکسل‌های سفید استفاده از این روش در همه‌ی آزمایش‌ها نتایج قابل قبولی نخواهد داشت. روش‌های جایگزین برای تشخیص محصولات از زمین کشاورزی استفاده از مدل‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی مانند Unet، YOLO، SegNet و الگوریتم Kmeans است که در بخش پژوهش‌های پیشین توضیح داده شد. در انجام این پژوهش از الگوریتم KMeans به دلیل سادگی و همچنین نتایج قابل قبول آن استفاده شده است.

برای پیاده‌سازی این روش، ابتدا تصاویر دریافتی از فرمت RGB به فرمت HSV تبدیل شدند تا بتوان بازه‌های رنگی را بر روی آنها فیلتر کرد. در ادامه بازه‌ای از رنگ سبز که منطبق بر رنگ گیاه می‌باشد انتخاب و فیلتر شد و سپس با استفاده از عملیات Morphology، پیکسل‌های مشخص شده فیلتر شدند. نمونه‌ای از پیاده‌سازی این فرایند در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶ نمونه‌ی پیش‌پردازش تصویر

در گام بعد، یا اعمال الگوریتم Kmeans بر خروجی این فیلتر، مقدار هر پیکسل با مقدار پیکسل‌های همسایه‌ی خود مقایسه شده و بر اساس آنها، مقدارش تغییر کرده است. اجرای این بخش، در کیفیت پاسخ‌های دریافتی در بخش‌های تشخیص ردیف محصولات نقشی تاثیرگذار بر عهده دارد. نمونه‌ای از پیاده‌سازی این روش در شکل ۷ نمایش داده شده است.

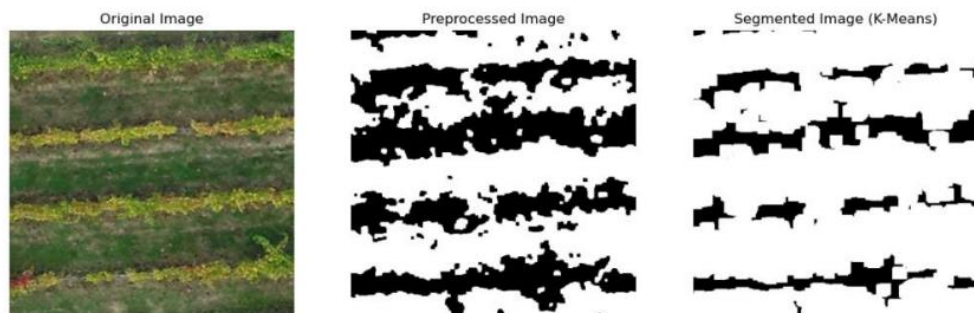


شکل ۷ اجرای الگوریتم Kmeans

با اعمال فرایندهای پیش‌پردازش بر روی تصاویر دریافتی و تبدیل آنها به یک تصویر صفر و یکی، می‌توانیم الگوریتم‌های تشخیص ردیف محصولات را بر روی آن اعمال کنیم که در بخش بعد توضیح داده شده است.

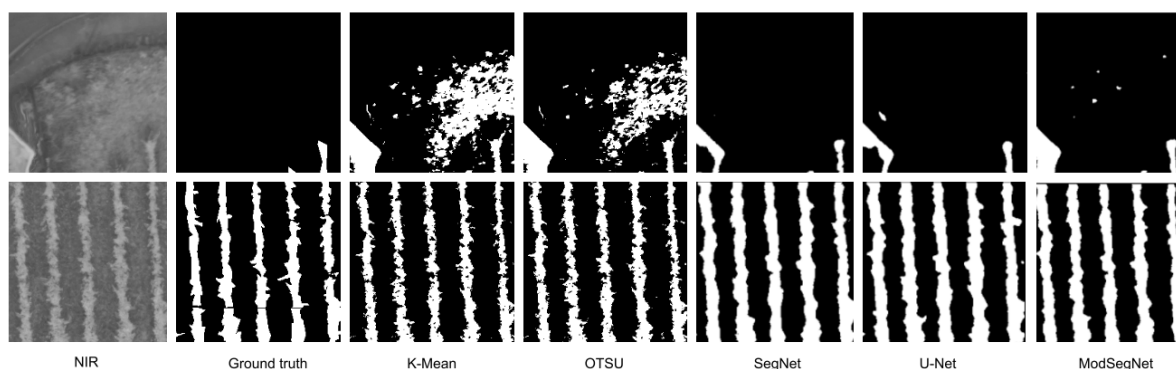
## ۲-۴-۲- استفاده از شبکه‌های هوش مصنوعی

علی‌رغم کارکرد بهینه و سازوکار ساده‌ی روش ذکر شده در قسمت قبل، در فضاهایی که المان‌های سبز رنگ دیگری مانند چمن حضور داشته باشد، الگوریتم قادر نخواهد بود میان محصولات و این المان‌ها تفاوتی قائل شود و بنابراین نتایج مناسبی دریافت نخواهد شد. نمونه‌ای از این اتفاق در شکل ۸ نمایش داده شده است.



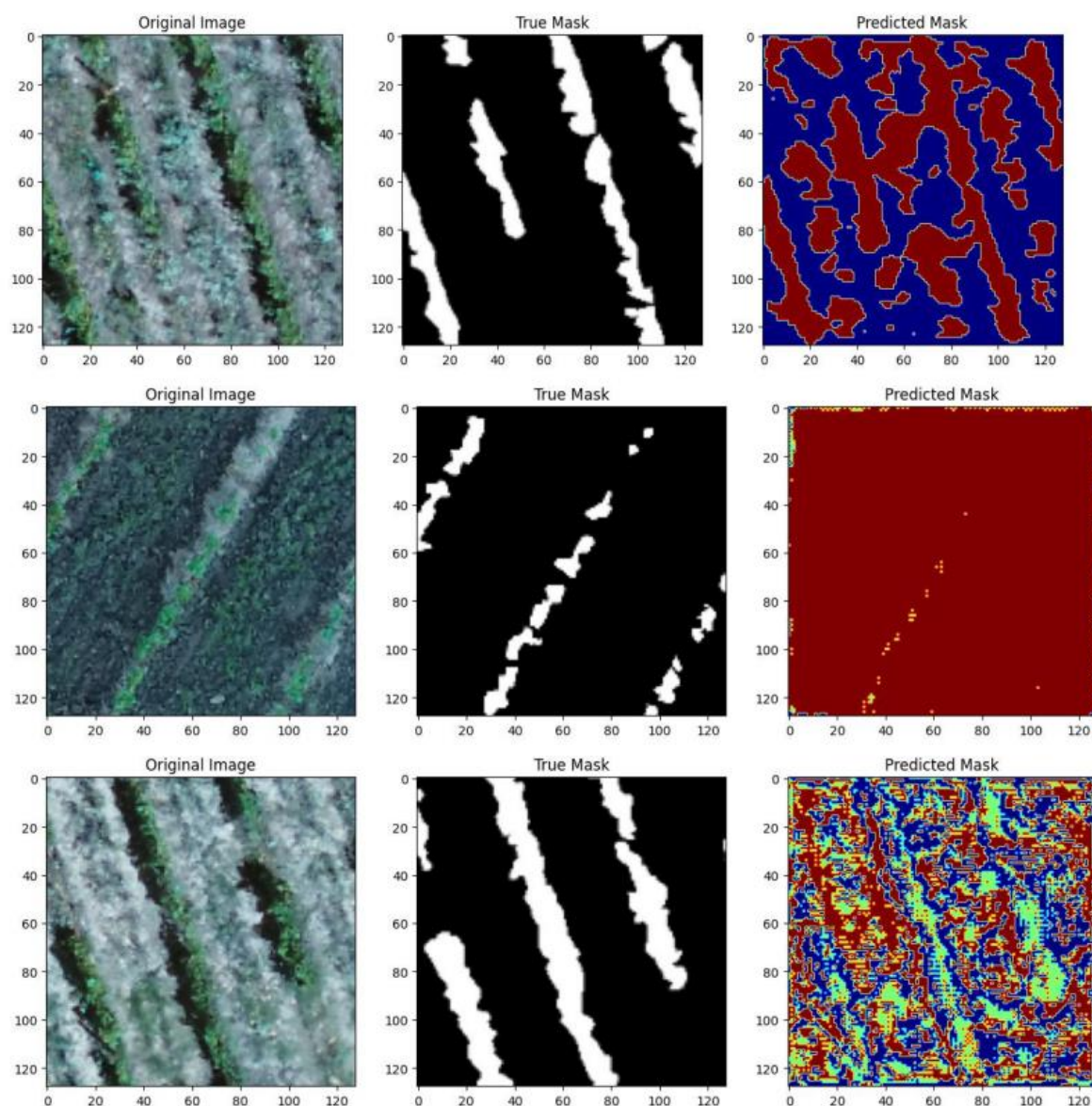
شکل ۸ کارکرد نامناسب پردازش تصویر به روش الگوریتمیک

مشاهده می‌کنیم که الگوریتم قادر نیست میان رنگ‌های سبز مربوط به پس‌زمینه و محصولات تفاوتی قائل شود و این موضوع منجر به عملکرد نادرست آن می‌شود. ممکن است که با تغییر پارامترهای الگوریتم مانند تغییر بازه‌ی رنگ‌های سبز مورد نظر، بتوان در هر نمونه محصولات را تشخیص داد، اما ممکن نیست که با هدف طراحی یک مدل یکسان، بتوان در تمامی شرایط نیاز تشخیص محصولات را برطرف کرد. بنابراین، بهره‌گیری از مدل‌های هوش مصنوعی جایگزینی مناسب برای روش‌های الگوریتمیک هستند. در بررسی الگوریتم‌های موجود در این حوزه، می‌توان از شکل ۹ جهت مقایسه بهره برد.



شکل ۹ مقایسه‌ی مدل‌ها و شبکه‌های پردازش تصویر برای شناسایی محصولات [۳]

همانطور که در این تصویر مشخص است، استفاده از الگوریتم Kmeans می‌تواند دارای خطای زیادی باشد. این در حالی است که مدل‌های دیگر نظیر Unet، SegNet، OTSO و ModSegNet می‌توانند نتایج بهتری داشته باشند. همچنین استفاده از شبکه‌ی YOLO در مقاله‌ی [۴] دقت خوبی را ایجاد کرده است. در انجام این پژوهش، ابتدا از شبکه‌ی Unet و سپس از شبکه‌ی SegNet استفاده شد. اما این روش‌ها به دلیل بروز ایراداتی در ساختار برنامه‌نویسی آنان نتوانستند نتایج مناسبی داشته باشند. نمونه‌هایی از پیاده‌سازی این روش‌ها در نمایش داده شده است.



شکل ۱۰ نتایج ناموفق شبکه‌ی UNet

با توجه به این نتایج، در نسخه‌ی اولیه‌ی این پژوهش از روش Kmeans استفاده شد.

## ۲-۵- پردازش تصویر

هدف از انجام فرایند پردازش تصویر در این پژوهش، تعیین نقاطی با فواصل یکسان بر روی مسیر میان محصولات است. برای دستیابی به این هدف، پس از جداسازی محصولات از زمین کشاورزی باید پردازش‌های مختلفی بر روی تصویر صورت گیرد. در گام اول، با استفاده از الگوریتم‌های تشخیص خطوط مانند

تبدیل هاف<sup>۱</sup> ردیف محصولات پیدا می‌شود. با در اختیار داشتن ردیف محصولات، می‌توان مسیر مستقیمی را میان ردیف‌های محصولات پیدا کرد و در نتیجه، می‌توان نقاطی را بر روی این مسیر به عنوان نقاط نشانه‌گذاری شده برای مسیر انتخاب کرد. در ادامه، به توضیح هر یک از این مراحل خواهیم پرداخت.

## ۲-۵-۱- پیدا کردن ردیف محصولات

پیدا کردن ردیف محصولات، به معنای آن است که بتوان با در اختیار داشتن یک تصویر صفر و یکی، برای هر مجموعه‌ی مجاور از پیکسل‌های سفید یک خط معرفی کرد که کمترین مجموع مربعات را با نقاط داشته باشد. روش‌های متعددی برای انجام این کار وجود دارد که از میان آنها، می‌توان به استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی برای دسته‌بندی پیکسل‌ها و سپس استفاده از توابع رگرسیون برای تنظیم یک خط در هر خوشه و یا استفاده از تبدیل‌های موجود برای تشخیص ردیف و خطوط مستقیم در تصاویر مانند تبدیل هاف استفاده کرد. در انجام این پژوهش، هر دو روش پیاده‌سازی شد و در نهایت با مقایسه‌ی نتایج این دو روش، از تبدیل هاف در برنامه‌ی نهایی استفاده شد. در ادامه، به توضیح هر یک از این روش‌ها خواهیم پرداخت

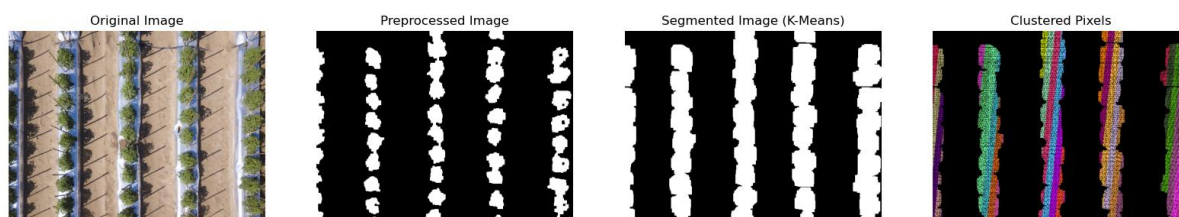
## ۲-۵-۱-۱- استفاده از روش خوشه‌بندی

اجرای این روش شامل خوشه‌بندی پیکسل‌های سفید، پیدا کردن زاویه‌ی ردیف محصولات در تصویر، و در نهایت فیت کردن خط با زاویه‌ی مشخص شده به هر خوشه است. در خوشه‌بندی محصولات، به جای آنکه به عنوان تابع هزینه، به صورت فاصله‌ی نقاط از یک مرکز تعریف شود، از تعریف متفاوتی استفاده شده است. در این پژوهش، تابع هزینه به صورت فاصله‌ی پیکسل‌های سفید از یک خط در نظر گرفته شده است. برای انجام این کار، ابتدا در یک فرایند تکرارشونده بهترین زاویه‌ی برای خطوط به گونه‌ای تعیین می‌شود تا کمترین فاصله را با نقاط داشته باشد. در هر مرحله، اگر میزان تابع هزینه کمتر از تکرارهای قبلی باشد ریال این زاویه به عنوان بهینه‌ترین زاویه در نظر گرفته می‌شود. سپس با در اختیار داشتن زاویه‌ی احتمالی ردیف محصولات، می‌توان با اعمال الگوریتم‌های خوشه‌بندی، ردیف‌های محصولات را از یکدیگر تمیز داد. با اعمال فرایند ذکر شده، می‌توانیم به نتایجی مانند شکل ۱۱ دست یابیم

---

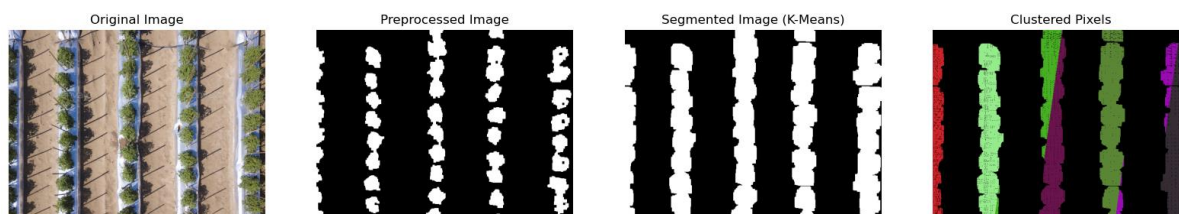
<sup>1</sup> Hough Transform





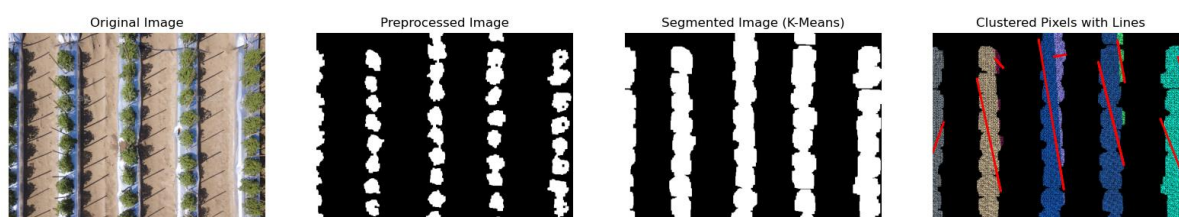
شکل ۱۱ خروجی ابتدایی تشخیص ردیف محصولات با استفاده از روش خوشه‌بندی

همانطور که در تصویر مشاهده می‌شود، زوایای ردیف محصولات در این برنامه با دقت مناسبی تشخیص داده شده است، اما به ازای یک ردیف از محصولات، تعداد خوشه‌های بیشتری تشخیص داده شده است. برای رفع این مشکل، با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی برای وجود فاصله میان ردیف‌های محصولات و همچنین یکپارچه کردن خوشه‌های مجاور، می‌توان عملکرد برنامه را مانند آنچه که در شکل ۱۲ نمایش داده شده است بهبود داد.



شکل ۱۲ عملکرد بهبود یافته تشخیص ردیف محصولات با استفاده از روش خوشه‌بندی

در گام نهایی برای تشخیص ردیف محصولات، با استفاده از تابع  $RANSAC^1$ ، خطوطی را به هر یک از خوشه‌های پیدا شده اختصاص داد. نتیجه‌ی پیاده‌سازی این روش را می‌توان در شکل ۱۳ مشاهده کرد.

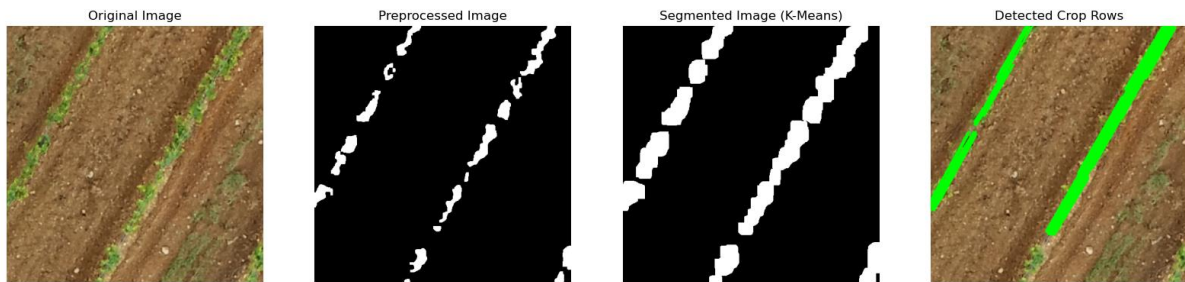


شکل ۱۳ تشخیص ردیف محصولات با استفاده از روش خوشه‌بندی

<sup>1</sup> Random Sample Consensus

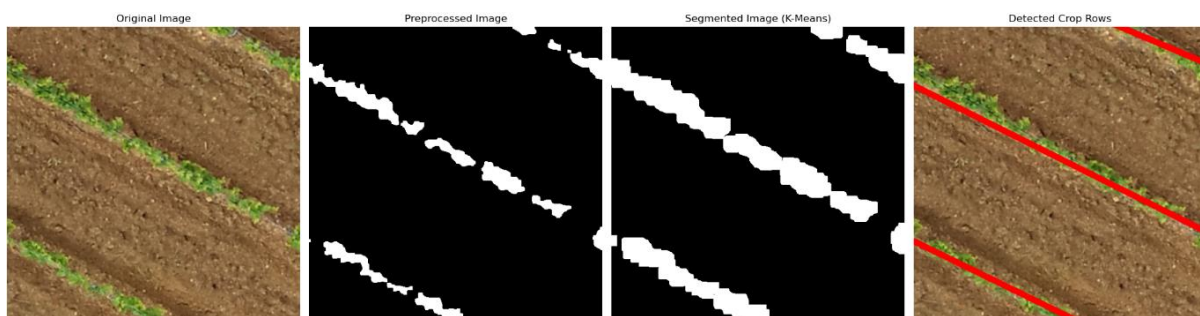
## ۲-۵-۱-۲- استفاده از تبدیل هاف

تبدیل هاف به طور کلی در پردازش تصویر برای تشخیص اشکال هندسی از جمله خط مورد استفاده می‌گیرد. به منظور پیاده‌سازی این روش ریال می‌توان از کتابخانه‌های موجود در پایتون استفاده کرد. نمونه‌ای پیاده‌سازی این روش در مشخص شده است.



شکل ۱۴ تشخیص ابتدایی ردیف محصولات با استفاده از تبدیل هاف

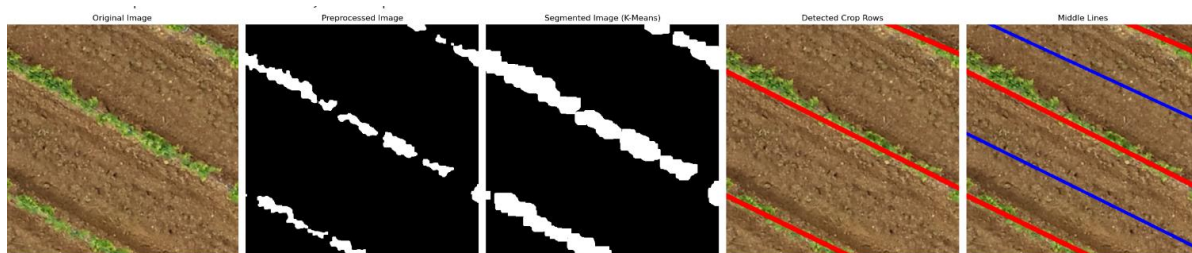
همانطور که در این تصویر مشاهده می‌شود، این تبدیل قادر است به سادگی و با دقت بسیار بالاتری نسبت به روش خوشه‌بندی ردیف‌های محصولات را پیدا کند. لازم به ذکر است که در نمونه‌ی ابتدایی از پیاده‌سازی این روش ریال به ازای هر ردیف محصولات تعداد زیادی خط تشخیص داده می‌شود که در پردازش‌های بعدی، ابتدا خطوط مجاور به وسیله‌ی تابع DBSCAN خوشه‌بندی شده و سپس به ازای هر خوشه، یک خط با شیب و عرض از مبدا برای برابر با میانگین مقادیر خطوط موجود در آن خوشه تعیین می‌شود. در نهایت، ردیف محصولات به صورت نمایش داده شده در شکل ۱۵ تشخیص داده می‌شوند.



شکل ۱۵ تشخیص نهایی ردیف محصولات با استفاده از تبدیل هاف

### ۲-۵-۲- پیدا کردن مسیر میان محصولات

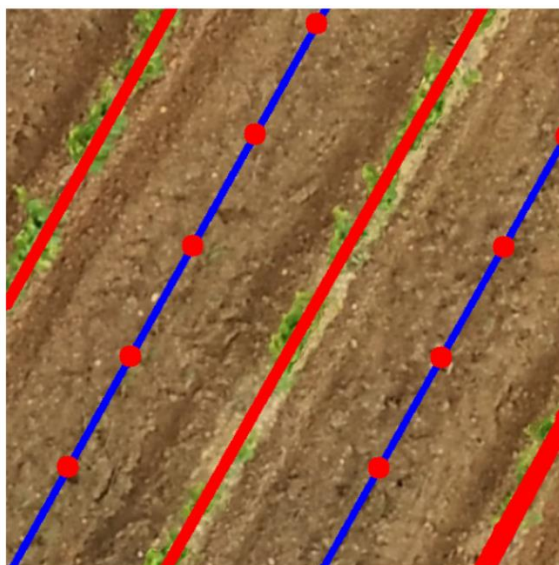
پس از پیدا کردن ردیف محصولات، به سادگی می‌توان خط‌هایی را میان هر دو ردیف محصول مجاور، با شیب یکسان و فاصله‌ی مساوی از ردیف‌ها به دست آورد. نمونه‌ای از پردازش این فرایند در شکل ۱۶ نمایش داده شده است



شکل ۱۶ پیدا کردن مسیر میان ردیف محصولات

### ۲-۵-۳- پیدا کردن نقاط بر روی مسیر

در گام آخر از پردازش تصویر، با هدف نهایی ارسال مختصات برای استفاده‌های بعدی، باید نقاطی بر روی مسیرها مشخص شوند. برای انجام این کار با در اختیار داشتن شیب و عرض از مبدا خطوط مسیر، نقاطی با فواصل مساوی برای هر خط تشخیص داده می‌شوند و مختصات طول و عرض آنها نیز در حافظه ذخیره می‌شود. تصویری از پیاده‌سازی این پردازش در شکل ۱۷ نمایش داده شده است.



شکل ۱۷ تعیین نقاط بر روی مسیر

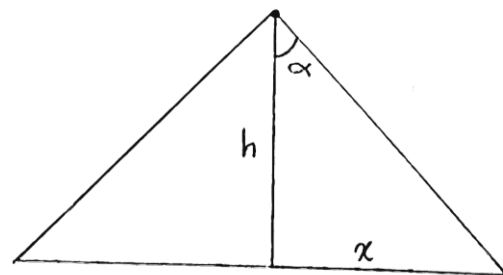
## ۲-۶- تبدیل مختصات محلی به مختصات جهانی

پس از پایان فرایند پردازش تصویر، مختصات مسیر به صورت موقعیت تعدادی پیکسل بر روی تصاویر ذخیره می‌شوند. اما این مقادیر در جهان واقعی قابل ردیابی و پیاده‌سازی نیستند. بنابراین باید با استفاده از تبدیل‌های ریاضی و همچنین اضافه کردن اطلاعات بیشتر نظیر مختصات جهانی پرنده در زمان تصویربرداری، ارتفاع آن و همچنین زاویه‌ی پوشش دوربین، مختصات پیکسل‌ها را به مختصات جهانی تبدیل کرد.

فرایند مورد استفاده در این بخش، شامل دریافت موقعیت مکانی پرنده، پیدا کردن رابطه‌ی میان تغییرات مختصات جهانی به ازای یک متر، و سپس محاسبه‌ی میزان تغییرات متر به ازای یک پیکسل جابه‌جایی است.

### ۲-۶-۱- تبدیل موقعیت پیکسل در به مختصات جهانی

طبق بررسی‌های انجام شده و آزمایش بر روی نقشه‌های آنلاین، هر یک متر جابه‌جایی منجر به ۰.۰۰۰۰۱ واحد تغییر در مختصات جهانی می‌گردد. همچنین با استفاده از روابط مثلثاتی، با در اختیار داشتن ارتفاع و زاویه‌ی پوشش دوربین می‌توان میزان تغییرات متر به ازای هر پیکسل را محاسبه کرد. زاویه‌ی پوشش دوربین GoPro Hero4 در حالت عادی برابر با ۷۴.۴۶ و در حالت گسترده برابر با ۱۰۷.۳۴ درجه است. با در اختیار داشتن این اطلاعات و انجام محاسبات بالا و همچنین با در نظر گرفتن مختصات پرنده در مرکز تصویر، قادر خواهیم بود مطابق شکل ۱۸ مختصات جهانی هر پیکسل از تصویر را مشخص کنیم.



$$\left. \begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{x}{h} \rightarrow x = h \tan \alpha \text{ (m)} \\ x &= \frac{\text{Resolution of Image (Px)}}{2} \end{aligned} \right\} 1 Px = 2 h \tan \alpha \text{ (m)}$$

$$0.00001^\circ = 1 \text{ (m)}$$

→ Conversion of pixel position to global Coordination :

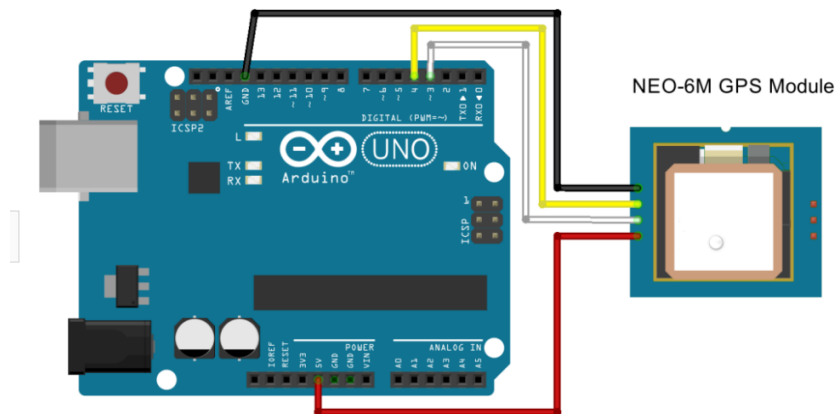
$$\boxed{\text{Pixel Position} \times \frac{2 h \tan \alpha \text{ (m)}}{1 Px} \times \frac{0.00001^\circ}{1 \text{ m}}} = \Delta \text{ Global Coordination}$$

$$\text{Global Coordination} = \text{Global Coordination of camera} + \Delta \text{ Global Coordination}$$

شکل ۱۸ اثبات محاسبه‌ی مختصات جهانی

## ۲-۶-۲- دریافت اطلاعات مختصات جهانی پرنده

همانطور که در بخش قبل توضیح داده شد، در محاسبه‌ی مختصات جهانی هر نقطه در تصویر نیاز داریم تا ابتدا فاصله‌ی آن نقطه را با موقعیت پرنده به دست آوریم. بنابراین، دریافت اطلاعات موقعیت جهانی پرنده از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود. برای دریافت این اطلاعات، از یک سنسور GPS ublox Neo-6m و یک برد Arduino Uno استفاده شده است. نحوه‌ی اتصالات این مازول در شکل ۱۹ نمایش داده شده است.



شکل ۱۹ اتصالات ماژول GPS

برای تفسیر و تبدیل داده‌های خام دریافت شده از این ماژول، از کتابخانه‌ی TinyGPS++ در کد نوشته شده استفاده شده است. در آزمایش‌های انجام شده بر روی این ماژول به دلیل حضور در فضای بسته و بروز خطا در دریافت اطلاعات توسط ماژول در این پژوهش تا زمان نگارش گزارش موفق به استفاده‌ی موثر از این ماژول نشده و مختصات پرنده به صورت غیراتوماتیک و توسط کاربر به سیستم داده شده است.

## ۲-۷- ارسال تصاویر برای گیرنده

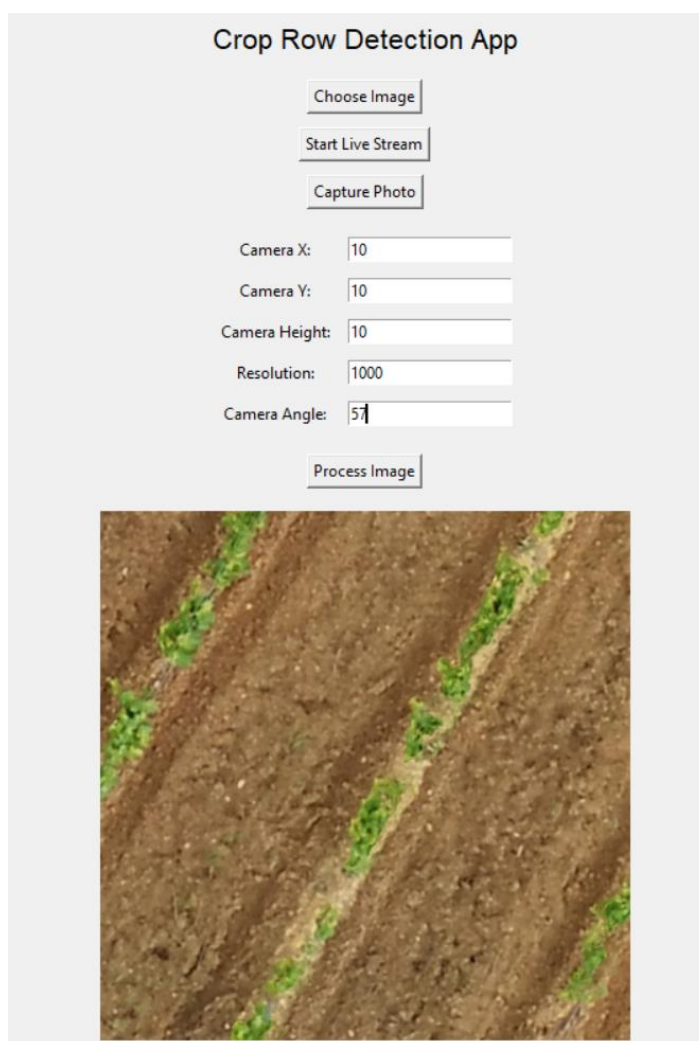
پس از محاسبه‌ی مختصات جهانی، این داده‌ها بر روی یک سرور محلی بارگذاری می‌شوند. دستگاه‌ها و یا ربات‌هایی که نیاز به استفاده از مختصات مسیر برای مسیریابی نیاز دارند می‌توانند با اتصال به این شبکه‌ی محلی و ارسال درخواست برای آن، اطلاعات را دریافت کنند.

## ۲-۸- طراحی نرم‌افزار برای تشخیص مختصات مسیر از تصاویر

### هوایی

با توجه به گستردگی و تعدد فرایندهای موجود در این پژوهش، ایجاد نرم‌افزاری یکپارچه به همراه محیطی گرافیکی برای تعامل با دستگاه‌ها و مشاهده‌ی داده‌ها و ارسال دستوراتی نظیر عکس‌برداری دوربین از اهمیت زیادی برخوردار است. برای این کار، ابتدا تمام فرایندهای نرم‌افزاری که در بخش‌های پیشین توضیح

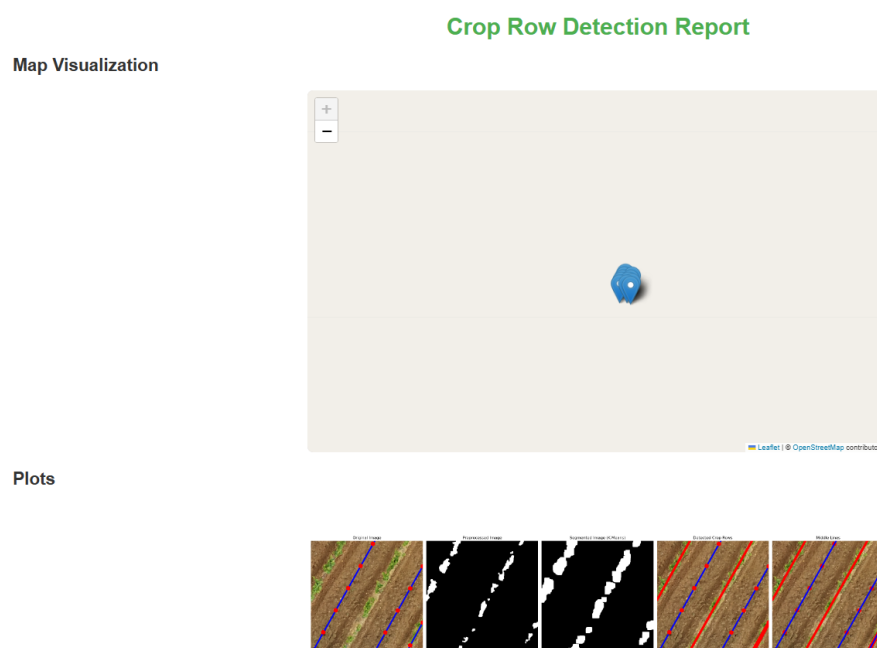
داده شد در یک کد پایتون گردآوری شده و سپس محیطی گرافیکی برای کد مورد نظر طراحی شد. نمایی از این برنامه در نمایش داده شده است.



پس از اجرای کد و مشاهده محیط گرافیکی، در گام اول نیاز است تا تصویر مورد نظر در محیط برنامه بارگذاری شود. در صورتی که این تصویر از پیش بر روی کامپیوتر ذخیره شده باشد، می‌توان با استفاده از دکمه‌ی Choose Image آن را از حافظه‌ی داخلی کامپیوتر انتخاب کرد. همچنین، به منظور استفاده و تصویربرداری برخط از دوربین متصل به پرنده می‌توان با کلیک بر گزینه‌ی Start Live Stream، پنجره‌ای را باز کرده و تصاویر دریافت شده از دوربین را مشاهده کرد. با کلیک بر گزینه‌ی Capture photo، تصویری از لحظه‌ی عکس‌برداری در محیط نرم‌افزار بارگذاری می‌شود.



در گام بعد، اطلاعاتی که به منظور تبدیل مختصات محلی به مختصات جهانی مورد نیاز است توسط کاربر وارد می‌شود. این اطلاعات شامل مختصات و ارتفاع پرنده، کیفیت تصویر و زاویه‌ی پوشش دوربین است. در نهایت با کلیک بر گزینه‌ی Process Image، مختصات مسیرهای پیدا شده به همراه فرایند تشخیص آن در یک صفحه‌ی وب نمایش داده می‌شود.



شکل ۲۰ نمایش خروجی‌های برنامه در صفحه‌ی وب

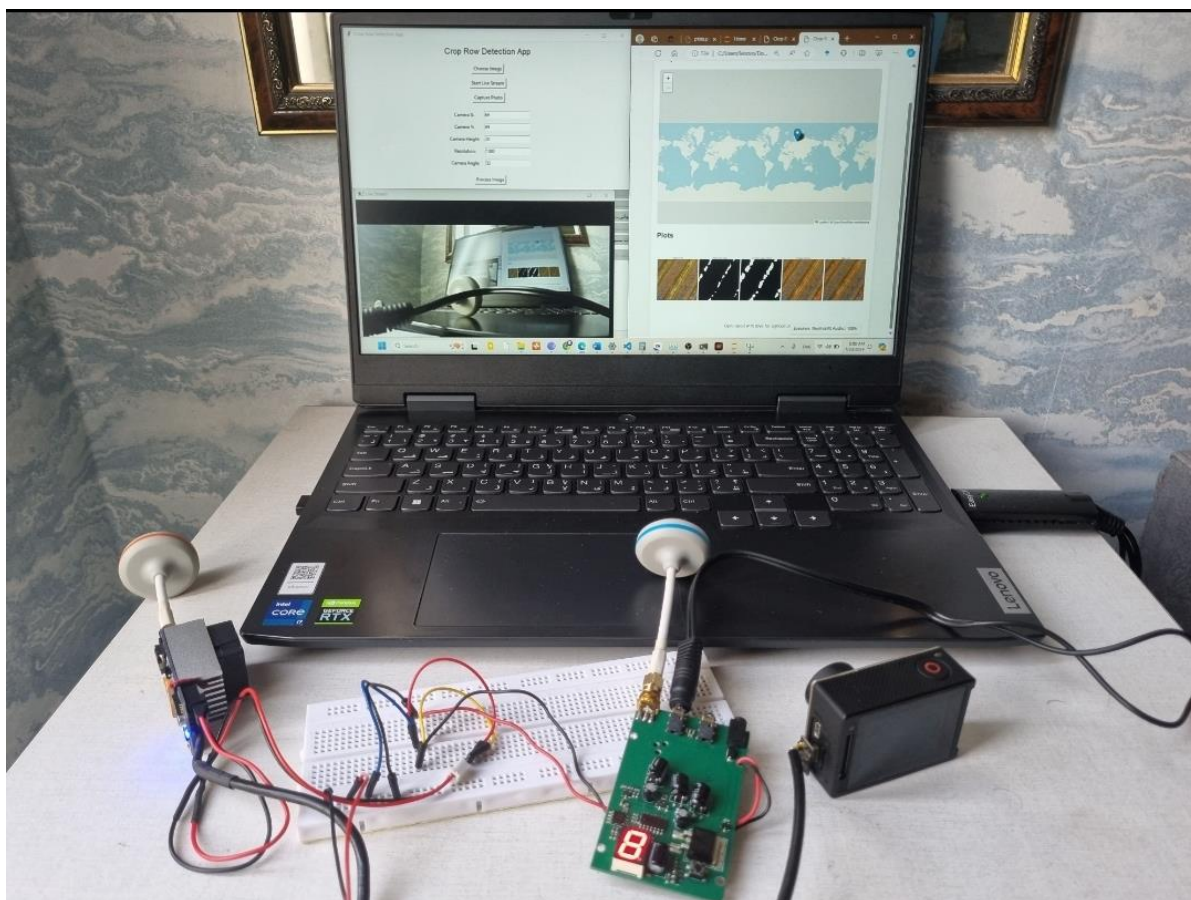
همچنین، با اجرای برنامه، یک سرور محلی بر روی سیستم راه‌اندازی می‌شود که اطلاعات مختصات بر روی آن بارگذاری می‌شود.

## ۹-۲- تست عملیاتی پژوهش

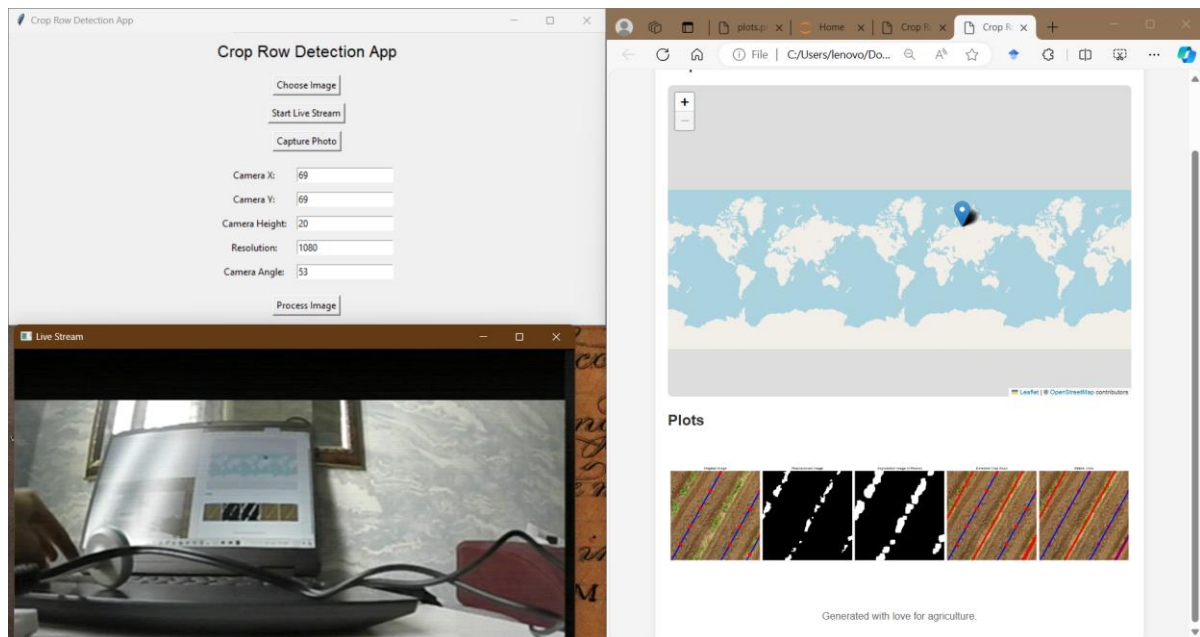
پس از راه‌اندازی سخت‌افزار و طراحی و رفع ایرادات نرم‌افزار، تست سخت‌افزاری به منظور صحت‌سنجی و امکان‌پذیری فرایند معرفی شده انجام شده است. در این تست، با دریافت اطلاعات به صورت آنی از دوربین، امکان تصویربرداری در هر لحظه وجود دارد. همچنین در صورتی که تصویر از مزارع تهیه شده باشد ریال



می‌توانیم با ردیف محصولات و نقاط مشخص شده بر روی مسیر را مشاهده کنیم. در شکل ۲۱ تصویری از چیدمان سخت‌افزاری و در شکل ۲۲ نمایی از تست سخت‌افزاری را مشاهده می‌کنیم.



شکل ۲۱ چیدمان سخت‌افزاری پژوهش



شکل ۲۲ تست سخت‌افزاری پژوهش

## ۱۰-۲- پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی

- مطابق آنچه که در بخش ۴-۲ توضیح داده شد، استفاده از شبکه‌های هوش مصنوعی می‌توانند نتایج بسیار بهتر و دقت و صحت بالاتری را داشته باشند. بنابراین اجرا و پیاده‌سازی صحیح این مدل‌ها می‌تواند در بهبود عملکرد سیستم نقش موثری داشته باشد.
- همچنین با راه‌اندازی سیستم ارسال و دریافت از راه دور اطلاعات GPS به عنوان گام نهایی این پژوهش، می‌توان از آن در زمینه‌های عملیاتی و به صورت کاملاً خودکار استفاده کرد.
- در پژوهش انجام شده، فرمان عکس‌برداری توسط کاربر در لحظات مناسب ارسال می‌شود. با تعیین سیاست‌های درست، می‌توان با محاسبه‌ی مسافت طی شده توسط پرنده، فرایند تصویربرداری را نیز به صورت خودکار انجام داد

## فهرست مرجع‌ها

- [1] I. Sa *et al.*, "WeedMap: A large-scale semantic weed mapping framework using aerial multispectral imaging and deep neural network for precision farming," *Remote Sensing*, vol. 10, no. 9, p. 1423, 2018.
- [2] M. Hassanein, M. Khedr, and N. El-Sheimy, "Crop row detection procedure using low-cost UAV imagery system," *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 42, pp. 349-356, 2019.
- [3] T. Barros *et al.*, "Multispectral vineyard segmentation: A deep learning comparison study," *Computers and electronics in agriculture*, vol. 195, p. 106782, 2022.
- [4] Y. Yang *et al.*, "Real-time detection of crop rows in maize fields based on autonomous extraction of ROI," *Expert Systems with Applications*, vol. 213, p. 118826, 2023.
- [5] M. Pérez-Ortiz, J. Peña, P. A. Gutiérrez, J. Torres-Sánchez, C. Hervás-Martínez, and F. López-Granados, "A semi-supervised system for weed mapping in sunflower crops using unmanned aerial vehicles and a crop row detection method," *Applied Soft Computing*, vol. 37, pp. 533-544, 2015.
- [6] S. Sankaran *et al.*, "Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: A review," *European Journal of Agronomy*, vol. 70, pp. 112-123, 2015.
- [7] K. Ramesh, N. Chandrika, S. Omkar, M. Meenavathi, and V. Rekha, "Detection of rows in agricultural crop images acquired by remote sensing from a UAV," *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, vol. 8, no. 11, p. 25, 2016.
- [8] M. D. Bah, A. Hafiane, and R. Canals, "CRowNet: Deep network for crop row detection in UAV images," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 5189-5200, 2019.
- [9] Y. Pang *et al.*, "Improved crop row detection with deep neural network for early-season maize stand count in UAV imagery," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 178, p. 105766, 2020.
- [10] V. R. Ponnambalam, M. Bakken, R. J. Moore, J. Glenn Omholt Gjevestad, and P. Johan From, "Autonomous crop row guidance using adaptive multi-roi in strawberry fields," *Sensors*, vol. 20, no. 18, p. 5249, 2020.
- [11] G. Ronchetti, A. Mayer, A. Facchi, B. Ortuani, and G. Sona, "Crop row detection through UAV surveys to optimize on-farm irrigation management," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 12, p. 1967, 2020.
- [12] N. Samet, S. Hicsonmez, and E. Akbas, "Houghnet: Integrating near and long-range evidence for bottom-up object detection," in *Computer Vision—ECCV 2020: 16th European Conference, Glasgow, UK, August 23–28, 2020, Proceedings, Part XXV 16*, 2020: Springer, pp. 406-423.

- [13] N. Cunha, T. Barros, M. Reis, T. Marta, C. Premebida, and U. J. Nunes, "Multispectral image segmentation in agriculture: A comprehensive study on fusion approaches," in *Iberian Robotics conference*, 2023: Springer, pp. 311-323.
- [14] J. Shi, Y. Bai, Z. Diao, J. Zhou, X. Yao, and B. Zhang, "Row detection BASED navigation and guidance for agricultural robots and autonomous vehicles in row-crop fields: methods and applications," *Agronomy*, vol. 13, no. 7, p. 1780, 2023.