

تشخیص بیماری زوال مرکبات با استفاده از سامانه بدون سرنشین هوایی مجهز به دوربین چندطیفی

عرفان صیدی پور^۱، فرهاد صمدزادگان^۲، فرزانه دادرسیان^{۳*}، امید عسکری^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
- ۲- استادگروه مهندسی نقشه‌برداری - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
- ۳- استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
- ۴- معاون دفتر پیش آگاهی و مدیریت تلفیقی آفات - سازمان حفظ نباتات کشور

تاریخ دریافت مقاله ۱۳۹۶/۰۴/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۲۳

چکیده

امروزه با توجه به افزایش جمعیت و کاهش منابع غذایی، دستیابی به سامانه‌های کنترل و پایش آفات و بیماری‌های گیاهی با دقت بالا به منظور تولید و دستیابی به محصولات کشاورزی سالم و کافی و پیشگیری از خسارت آفات و بیماری‌های گیاهی و کاهش هزینه‌های ناشی از کنترل آنها اهمیت فراوانی پیدا کرده است. سامانه‌های هوایی بدون سرنشین به دلیل کاهش هزینه‌های مالی و نیروی انسانی، سهولت کاربرد، امکان اخذ تصویر در شرایط آب و هوایی ابری در زیر پوشش ابرها، قابلیت انعطاف در مدت زمان و ارتفاع تصویربرداری، توان تفکیک مکانی بسیار بالا و استفاده از آنها در اخذ داده‌های سنجش از دور مطرح شده و مورد توجه بسیار قرار گرفته است. در همین راستا استفاده از این سامانه‌ها در اخذ داده‌های مورد نیاز کشاورزی می‌تواند قابلیت‌های بالایی در پایش محصولات و مبارزه با آفات فراهم آورد. در این تحقیق توانایی سنجنده چندطیفی نصب شده بر روی سکوی هواپرد بدون سرنشین در بررسی وضعیت بیماری درختان باغ مرکبات در منطقهای در استان فارس که آلوده به بیماری زوال می‌باشند مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از داده‌های اخذ شده توسط این سامانه، نقشه بیماری درختان براساس شاخص‌های گیاهی و تمایز درختان بیمار و سالم با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی ماشین‌های بردار پشتیبان تهیه شد. داده‌های زمینی برداشت شده نشان از قابلیت بالای روش فوق در تشخیص بیماری درختان داشت. نتایج حاصله بیانگر دقت ۹۰ درصدی طبقه‌بندی درختان بیمار از سالم بود.

واژه‌های کلیدی: زوال مرکبات، کشاورزی دقیق، سامانه هواپرد بدون سرنشین، تصاویر چندطیفی

* نویسنده مکاتبه کننده: امیرآباد شمالی، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی

تلفن: ۰۲۱۸۸۰۰۸۸۴۱

۱- مقدمه

در زمینه کشاورزی دقیق تولید دوربین‌های حرارتی و چندطیفی سبک وزن در ابعاد کوچک می‌باشد [۱۴]. در میان محصولات متعدد و متنوع کشاورزی در ایران، مرکبات یکی از مهم‌ترین سرده میوه‌های نیمه‌گرمسیری هستند، که خاستگاه اصلی آن علاوه بر ایران، هند، چین، ژاپن و برخی از کشورهای آسیای جنوب شرقی می‌باشد. کشور ایران مقام هفتم را در میان کشورهای تولید کننده مرکبات کسب کرده است، که در این میان استان‌هایی نظیر مازندران، خوزستان، فارس، کرمان و هرمزگان از تولیدکنندگان مهم مرکبات می‌باشند. با این وجود بیماری زوال و مرگ درختان مرکبات، به صورت گسترده‌ای در باغ‌های مناطق جنوبی ایران شایع است و یکی از عوامل تهدیدکننده‌ی تولید مرکبات در ایران به حساب می‌آید. از نشانه‌های زوال مرکبات می‌توان به پژمردگی برگ‌ها، خشک شدن شاخه‌ها، تأخیر در رشد بهاره، نشانه‌های کمبود عنصر روی در برگ‌ها اشاره کرد. در شکل (۱) نمونه‌ای از تصاویر یک درخت بیمار در مقابل درخت سالم نشان داده شده است.



الف ب ج

شکل ۱: الف) تصویر برگ درخت بیمار ب) تصویر درخت بیمار ج) تصویر درخت سالم

تاکنون علت اصلی ابتلای درختان به بیماری زوال به‌طور دقیق مشخص نشده است، در واقع یک عامل بیماری‌زا، ریشه درختان را درگیر کرده و موجب خشکیدگی و نابودی درختان می‌شود. یکی از راه‌های مقابله با این بیماری شناسایی زودهنگام و قطع درختان بیمار برای جلوگیری از انتشار بیماری می‌باشد. در این تحقیق با هدف مطالعه بر وضعیت سلامت

کشاورزی دقیق^۱ شامل مجموعه اقداماتی از قبیل آبیاری، کوددهی، بذرپاشی، سمپاشی و علف‌کشی به‌منظور مدیریت بهتر بر زمین‌های کشاورزی در زمان و مکان مناسب می‌باشد که موجب بهره‌وری و سودآوری بهتر محصولات کشاورزی می‌شود [۱ و ۲]. کاربرد سنجش از دور در کشاورزی دقیق با ساخت سنسورهایی برای اندازه‌گیری مقدار محتویات مواد معدنی خاک شروع شد و به سرعت در عرصه سنجنده‌های فضا برد، هوا برد و زمینی گسترش یافت [۳]. سنسورهای مشاهده رفتار گیاهان می‌توانند بر پایه مشاهدات فضا برد [۴]، هوا برد [۵، ۶ و ۷]، سامانه‌های بدون سرنشین [۸ و ۹]، سنجنده‌های متصل به ماشین آلات کشاورزی [۱۰ و ۱۱] و سنجنده‌های متصل به ربات‌های متحرک [۱۲] به‌منظور ثبت تراکم علف‌های هرز، ارتفاع درختان، انرژی بازتاب از سطح برگ، رطوبت و دیگر خصوصیات مهم در رابطه با مدیریت زمینهای کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند. سکوهای هوایی و ماهواره‌ای و سنجنده‌های نصب شده بر روی آنها، با وجود امکانات فراوانی که برای کاربردهای کشاورزی فراهم آورده‌اند، محدودیت‌هایی چون توان تفکیک مکانی و زمانی مورد نیاز، محدودیت در شرایط بد ابری و هزینه بالا، گستره فعالیت‌های آنها را برای کاربردهای کشاورزی با مشکل روبرو کرده است [۱۱]. در این میان امروزه استفاده از سامانه‌های UAS^۲ در زمینه نظارت بر پوشش‌های گیاهی، بدلیل توان تفکیک مکانی و زمانی بالا، کم هزینه بودن و سادگی اجرا، مورد توجه قرار گرفته است [۱۳]. با بهره‌گیری از این ویژگی‌ها نظارت بر فعالیت‌های کشاورزی با دقت بالا و در دوره‌های زمانی کوتاه میسر گشته است. یکی از دلایل گستردگی استفاده از سامانه‌های بدون سرنشین

^۱Precision agriculture

^۲Unmanned Aerial System

مقدار محصولات زیتون دست یافت [۱۸]. توان تفکیک مکانی و زمانی و همچنین تصحیحات اتمسفر از اصلی‌ترین محدودیت‌های تصاویر ماهواره‌ای در کشف بیماری به حساب می‌آیند. سنجنده‌های هوایی با هدف غلبه بر این محدودیت‌ها مورد استفاده قرار گرفت. شیانگو لیتان در سال ۲۰۱۱ با مقایسه دو روش نظارتی بر رشد علف‌ها (با استفاده از سنجنده چندطیفی و داده‌های میدانی) به مطالعه دقت مشاهدات سنجنده چندطیفی هوایی پرداخته‌اند. و نتیجه تحقیقات خطای اندازه‌گیری در حدود ۱/۵ درصد از کل مشاهدات را نشان داد [۱۹]. آگورو و همکاران در سال ۲۰۱۱ در مزارع آفتابگردان به بررسی مقدار محتویات نیتروژن موجود در برگ‌ها پرداخته‌اند. از آن جایی که مقدار نیتروژن با مقدار کلروفیل ارتباط قوی دارد، با اندازه‌گیری مقدار بازتابش نور خورشید به کشف مقدار نیتروژن با استفاده از تصاویر چندطیفی هوایی پرداخته‌اند. برای مقایسه این روش از یک ایستگاه زمینی تصویربرداری نیز استفاده شده است. نتیجه آزمایش بهتر بودن عملکرد تصویرهوایی به دلیل کم بودن تاثیرات خاک و سایه درختان آفتابگردان را نشان می‌داد [۲۰].

در تحقیقی که توسط رویز و همکاران در سال ۲۰۱۳ در رابطه با یک مزرعه پرتقال انجام شد به بررسی عملکرد دو سنجنده، یکی سنجنده چند طیفی نصب شده بر روی پهپاد و دیگری سنجنده فراطیفی هوابرد در تشخیص نوع خاصی از بیماری درختان پرتقال پرداخته شد، نتیجه تحقیق عملکرد بهتر سنجنده چندطیفی پهپاد بدلیل توان تفکیک مکانی بهتر را نشان می‌داد [۲۱]. نیبکر و همکاران در سال ۲۰۱۶ با استفاده از دو سنجنده چندطیفی S ۱۱۰ Canon NIR و multiSPEC 4C که سنجنده دوم مجهز به باند طیفی لبه قرمز می‌باشد، به بررسی عملکرد این دو سنجنده در برآورد بیماری‌های گیاهی پرداخته‌اند. نتیجه تحقیق عملکرد بهتر سنجنده MultiSPEC 4C، به دلیل دارا بودن باند

یک باغ پرتقال آلوده به بیماری زوال، با استفاده از دوربین چندطیفی چندعدسی نصب شده بر روی یک سامانه بدون سرنشین عمود پرواز، از منطقه مورد مطالعه تصویربرداری به عمل آمده است. همزمان به منظور تهیه داده‌های آموزشی برای الگوریتم طبقه‌بندی، داده‌های زمینی توسط کارشناسان حفظ نباتات جمع آوری و موقعیت درختان بیمار و سالم توسط GPS^۱ ثبت گردید. در نهایت بر اساس روال پردازشی توسعه داده شده در این تحقیق، نقشه‌ی سلامت درختان در این منطقه تعیین و ارزیابی شده است.

۲- مروری بر تحقیقات پیشین

استفاده از سکوی فضابرد در زمینه کشاورزی با پرتاب اولین ماهواره‌ی لندست^۲ شامل باندهای طیفی در محدوده قرمز، سبز و دو باند مادون قرمز) در سال ۱۹۷۲ آغاز شد. اولین کار در همان زمان توسط بوی برای طبقه‌بندی محصولات کشاورزی ذرت و سویا انجام گرفت که در نتیجه آن دقت کلی ۸۳ درصد حاصل شد [۱۵]. جیول و همکاران در سال ۱۹۸۹ با دقت کلی ۸۸ درصد به طبقه‌بندی مزارع، جنگل‌ها و زمین‌های خشک از طریق عکس‌های ماهواره اسپات^۳، پرداختند [۱۶].

با پرتاب ماهواره‌هایی با قدرمت مکانی و زمانی مناسب‌تر مانند آیکنوس^۴ و کوئیکبرد^۵ تحقیقات در زمینه کشاورزی دقیق افزایش یافت. سیلن و همکاران در سال ۲۰۰۳ با استفاده از تصاویر آیکنوس به تشخیص نوعی بیماری مربوط به قارچ در مزارع گندم پرداختند [۱۷]. تحقیقی که توسط تورس و همکاران در سال ۲۰۰۸ در اسپانیا انجام گرفت، نشان داد که می‌توان با استفاده از تصاویر کوئیکبرد به برآوردی از

^۱Global Positioning System

^۲Landsat-1

^۳SPOT-1

^۴Ikonos-2

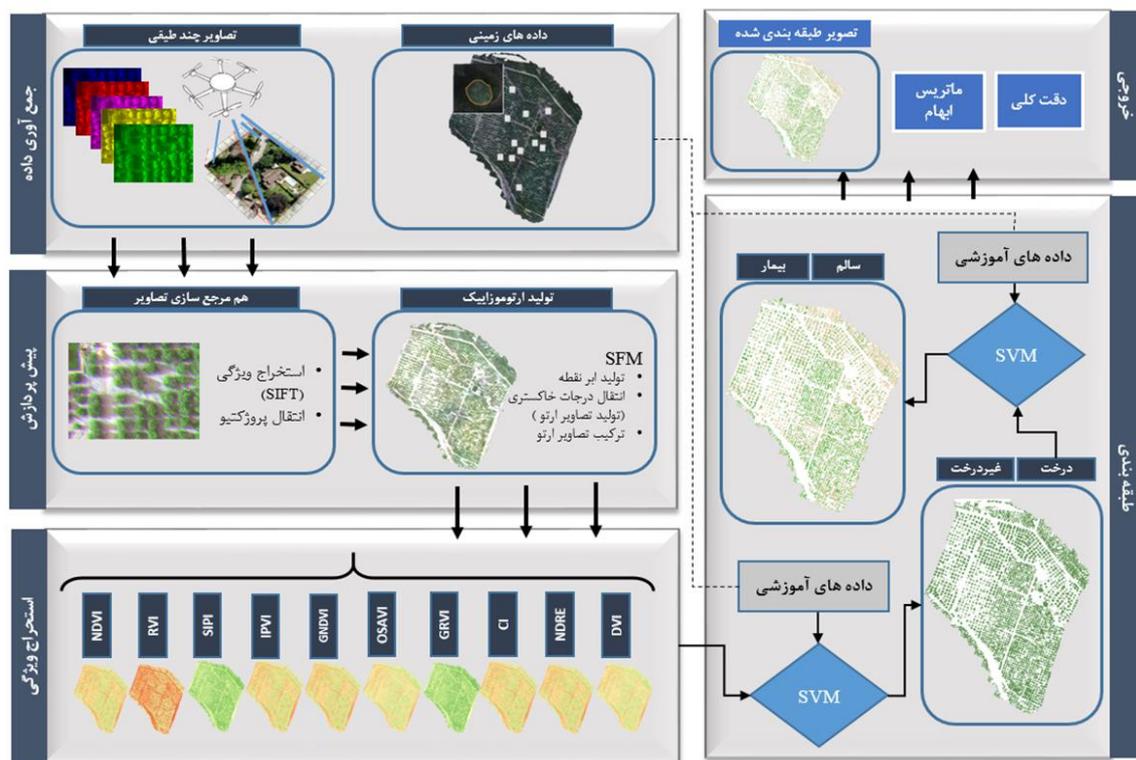
^۵Quickbird-2

شکل (۲) نمایش داده شده است، این روش در مجموع از ۵ گام کلی تشکیل شده است. در اولین گام، داده‌های میدانی متشکل از تصاویر هوایی و اطلاعات زمینی اخذ می‌گردند. سپس این داده‌ها وارد بخش پیش پردازش شده و پس از آماده‌سازی وارد مرحله محاسبات شده که خود از دو گام استخراج ویژگی‌های گیاهی و طبقه‌بندی تصاویر تشکیل شده است. در نهایت خروجی‌ها که شامل نقشه سلامت درختان می‌باشد تولید می‌گردد. در ادامه به شرح مختصر هر یک از گام‌های الگوریتم فوق پرداخته شده است.

لبه قرمز را نشان می‌دهد [۲۲]. در این مقاله با بهره‌گیری از مقالات گذشته علاوه بر استفاده از سنجنده چندطیفی و پرند بدون سرنشین برای اولین بار در ایران به بررسی بیماری زوال مرکبات در استان شیراز پرداخته شده است.

۳- روش پیشنهادی

در این تحقیق به منظور ارزیابی وضعیت سلامت درختان مرکبات روشی مبتنی بر تصاویر چند طیفی اخذ شده از دوربین نصب شده بر روی پرند بدون سرنشین ارائه شده است. دیگرام روش فوق در شکل (۲) نمایش داده شده است. همان‌طور که در



شکل ۲: فلوچارت روش پیشنهادی

به‌منظور تهیه ارتوموزائیک از تصاویر چندطیفی تعدادی ایستگاه زمینی ایجاد می‌گردد و موقعیت آنها توسط دستگاه GPS مشاهده می‌شود.

۳-۲- پیش پردازش

مرحله پیش‌پردازش شامل هم‌مرجع‌سازی باندهای

۳-۱- جمع آوری داده های زمینی

کارشناسان حفظ نباتات همزمان با عملیات پرواز و تصویربرداری، از منطقه مورد مطالعه بازدید و وضعیت سلامت تعدادی از درختان را به منظور تهیه داده‌های آموزشی و ارزیابی ثبت می‌کنند. همچنین

ضعف تابع انتقال پروژکتیو در هم‌مرجع سازی تصاویر زمانی است که اختلاف ارتفاع محسوسی نسبت به ارتفاع پرواز در منطقه مشاهده شود. در این صورت خطای هم‌مرجع سازی مقدار قابل توجهی می‌باشد.

۳-۲-۲- تولید ارتوموزائیک

تاکنون تلاش‌های بسیاری در زمینه خودکارسازی فرآیند تولید ارتوموزائیک از تصاویر اخذ شده در ارتفاع پایین و کیفیت بالا انجام پذیرفته است. مراحل معمول ایجاد ارتوموزائیک با داشتن تصاویر و اطلاعات ناوبری مربوط به آنها به ترتیب زیر می‌باشد:

استفاده از الگوریتم^۲ SFM [۲۴] به منظور ایجاد مدل سه‌بعدی زمین با استفاده از اطلاعات ناوبری مربوط به تصاویر و نقاط کنترل زمینی (در شکل (۴) فلوچارت مربوط به روش SFM نمایش داده شده است)

- i. ساخت تصویر ارتو از هر عکس در نتیجه‌ی تصویرکردن درجات خاکستری هر عکس بر روی مدل ارتفاعی زمین.
- ii. ترکیب تصاویر ارتو و ساخت ارتوموزائیک به نحوی که تغییرات درجه خاکستری در هنگام عبور از یک عکس به عکس دیگر کمینه گردد.

تصویری (بدلیل استفاده از سنجنده چندعدسی) و تهیه ارتوموزائیک به عنوان ورودی برای الگوریتم طبقه‌بندی می‌باشد.

۳-۲-۱- هم‌مرجع سازی تصاویر

در دوربین‌های چندطیفی، بدلیل استفاده از عدسی‌های مجزا برای هر باند تصویری، تصاویر اخذ شده در لحظه عکسبرداری نسبت به یکدیگر هم‌مرجع نمی‌باشند. اگرچه اختلاف میان باندها جزئی است، ولی جهت استخراج ویژگی‌های تصویری تمامی باندها باید نسبت به یکدیگر با دقت بهتر از پیکسل، هم‌مرجع شده باشند تا ویژگی‌های استخراج شده در مرحله بعدی معنادار باشند. بر همین اساس در این تحقیق قبل از تهیه‌ی موزائیک عکسی از منطقه و طبقه‌بندی، ابتدا باندهای هر تصویر با استفاده از الگوریتم استخراج ویژگی^۱ SIFT [23] و تابع انتقال پروژکتیو (رابطه (۱) و (۲))، هم‌مرجع می‌شوند.

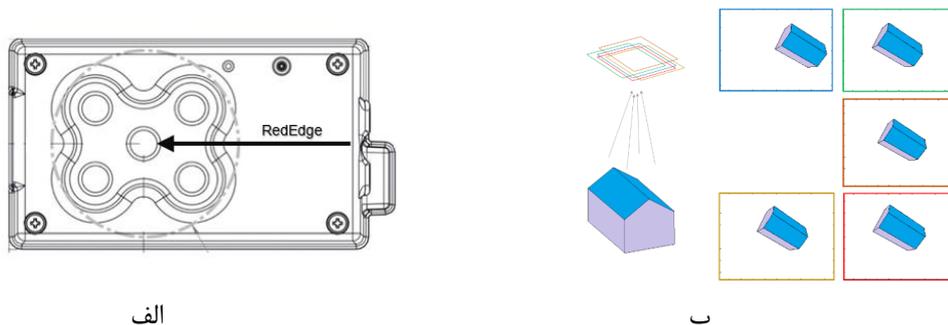
$$x_{RedEdge} = \frac{a_{i1} x_{Bi} + a_{i2} y_{Bi} + a_{i3}}{c_{i1} x_{Bi} + c_{i2} y_{Bi} + 1} \quad (1) \text{ رابطه}$$

$$y_{RedEdge} = \frac{b_{i1} x_{Bi} + b_{i2} y_{Bi} + b_{i3}}{c_{i1} x_{Bi} + c_{i2} y_{Bi} + 1} \quad (2) \text{ رابطه}$$

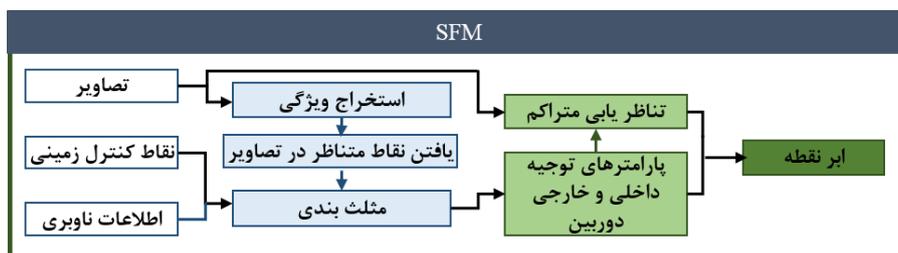
در رابطه فوق $(x_{RedEdge}$ و $y_{RedEdge}$) مختصات مربوط به یک نقطه متناظر در باند لبه قرمز، $(x_{Bi}$ و y_{Bi}) مختصات همان نقطه در یکی از باندهای دیگر (آبی، سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک) و $(a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, b_{i1}, b_{i2}, b_{i3}, c_{i1}, c_{i2})$ ضرایب رابطه انتقال پروژکتیو بین باند لبه قرمز و باند مربوطه می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، به دلیل قرار گرفتن موقعیت عدسی در باند لبه قرمز، در بین عدسی‌های دیگر باندها، این باند به عنوان باند مرجع انتخاب می‌شود. با مرجع قراردادن باند لبه قرمز، پارامترهای توجیه داخلی و خارجی این باند، به منظور تهیه ارتوموزائیک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

² Structure From Motion

¹ Scale Invariant Feature Transform



شکل ۳: الف) موقعیت قرار گیری باند لبه قرمز در بین دیگر باندها (ب) دید پرسپکتیو مربوط به هر کدام از تصاویر باندها



شکل ۴: فلوچارت مربوط به تولید ابر نقطه با روش SFM

مختلف تصاویر، در طبقه‌بندی و پروسه تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار داده می‌شوند. در این تحقیق از شاخص‌های گیاهی که بر طبق تحقیقات پیشین نمایشگر بهتری از وضعیت سلامت درختان می‌باشند استفاده شده است. این شاخص‌ها به صورت اختصار در جدول (۱) مورد بررسی قرار داده شده‌اند.

۳-۳- استخراج شاخص‌های گیاهی

پاسخ طیفی مناطق پوشیده از گیاهان، ترکیبی از مقدار سبزیگی گیاهان، روشنایی خاک، تاثیرات محیطی همچون سایه، رنگ خاک و رطوبت و مانند آنها می‌باشد. این رفتار گیاهان در تصاویر طیفی در قالب شاخص‌های گیاهی قابل نمایش و اندازه‌گیری است. شاخص‌های گیاهی پس از استخراج از طیف‌های

جدول ۱: شاخص‌های گیاهی مورد استفاده

نام شاخص گیاهی	مدل ریاضی	توضیحات
RVI	$\frac{NearIR}{Red}$	این شاخص توسط پرسون و میلر بمنظور تمایز بین خاک و پوشش گیاهی به عنوان اولین شاخص گیاهی معرفی شد. این اندیس تاثیر پذیری کمی نسبت به شرایط نوری دارد [۲۵].
	Ratio Vegetation Index	
NDVI	$\frac{NearIR - Red}{NearIR + Red}$	این شاخص توسط روزبدلیل ارتباط مستقیم با فعالیت‌های فتوسنتز و جذب انرژی توسط شاخ و برگ گیاهان معرفی شد [۲۶].
	Normalized Difference Vegetation Index	
DVI	$NearIR - Red$	این شاخص توسط کلورزبرای جداسازی پوشش‌های گیاهی از زمین‌های خالی از پوشش معرفی شد. این شاخص متأثر از تاثیرات سایه درختان و شرایط اتمسفری می‌باشد [۲۷].
	Difference Vegetation Index	

نام شاخص گیاهی	مدل ریاضی	توضیحات
IPVI	$\frac{NearIR}{NearIR + Red}$	این شاخص توسط کریپین معرفی شد. اساسا این شاخص به صورت ریاضی معادل شاخص‌های NDVI و RVI می‌باشد. همچنین مقدار این شاخص بین صفر تا یک متغیر است [۲۸].
	Infrared Percentage Vegetation Index	
GRVI	$\frac{Green - Red}{Green + Red}$	این شاخص توسط چمارد و همکاران معرفی شد. بر طبق رابطه، مقدار این کمیت برای پوشش‌های گیاهی، خاک و آب به ترتیب مثبت، منفی و مقادیر نزدیک به صفر می‌باشد. مقدار حدآستانه صفر می‌تواند مرز بین پوشش‌های گیاهی و دیگر عوارض زمینی باشد [۲۹].
	Green-Red Vegetation Index (GRVI)	
SIPI	$\frac{NearIR - Blue}{NearIR + Red}$	این شاخص توسط پنیولاس و فیلا به منظور بررسی یک نوع بیماری در مزارع سیب معرفی شد [۳۰].
	Structure Insensitive Pigment Index	
OSAVI	$\frac{NearIR - Red}{NearIR + Red + 1}$	این شاخص به منظور بهبود شاخص NDVI نسبت به تاثیر پذیری از خاک و شرایط اتمسفری توسط رونداکس و همکاران معرفی گردید [۳۱].
	Optimization of soil-adjusted vegetation indices	
GNDVI	$\frac{NearIR - Green}{NearIR + Green}$	این شاخص توسط وانگو همکاران به منظور تخمین مقدار شاخص سطح برگ معرفی شد. نتایج تحقیق عملکرد بهتر این شاخص نسبت شاخص NDVI را نشان می‌داد. [۳۲]
	Green NDVI	
NDRE	$\frac{NearIR - RedEdge}{NearIR + RedEdge}$	این شاخص توسط بارنز و همکاران با هدف بررسی سلامت گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است. این شاخص همانند شاخص گیاهی NDVI است با این تفاوت که باند لبه قرمز جایگزین باند قرمز شده است [۳۳].
	normalized difference red edge index	
CI	$\frac{NearIR}{Red} - 1$	این شاخص توسط بوچ و خسلا به منظور بررسی مقدار نیتروژن موجود در مزارع ذرت معرفی شد [۴].
	Chlorophyll Index	

۳-۴- طبقه‌بندی

پس از استخراج شاخص‌های گیاهی از تصاویر، پروسه تصمیم‌گیری در مورد وضعیت گیاهان بر اساس شاخص‌های استخراج شده طی مرحله طبقه‌بندی انجام می‌گیرد. در این تحقیق طبقه‌بندی در سطح پیکسل از طریق الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در دو گام انجام پذیرفته است. در گام نخست، کلاس درخت از دیگر کلاس‌ها جدا می‌شود، و در گام بعد به دلیل تمایز بین درختان سالم از درختان بیمار مجدداً از الگوریتم طبقه‌بندی استفاده می‌شود. باندهای

تصویر برداری شده و شاخص‌های گیاهی به‌عنوان فضای ویژگی ورودی برای الگوریتم ماشین بردار پشتیبان انتخاب می‌شوند. ماشین‌های بردار پشتیبان [۳۴] یک روش طبقه‌بندی با نظارت بر مبنای نظریه‌ی یادگیری آماری است. هدف اصلی این طبقه‌بندی کننده، یافتن یک فراصفحه‌ی بهینه به‌عنوان یک سطح تصمیم‌گیری، به گونه‌ای است که حاشیه‌ی بین دو کلاس را بیشینه کند.

۴- نتایج عملی و ارزیابی

نتایج پردازش‌های انجام گرفته بر روی تصاویر خام (جمع آوری شده از طریق پرند بدون سرنشین مجهز به سنجنده چندطیفی) همراه با داده‌های میدانی (جمع آوری شده توسط کارشناسان حفظ نباتات) به منظور ارزیابی روش پیشنهادی مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته است. در ادامه خروجی‌های به دست آمده در هر مرحله به همراه نتایج حاصل ارائه شده است.

۴-۱- معرفی داده‌ها و تجهیزات مورد استفاده

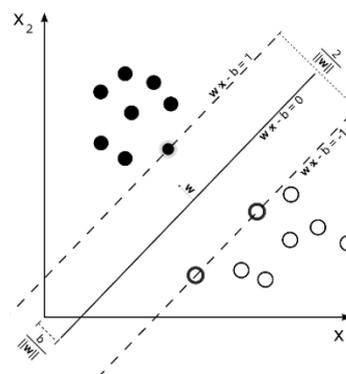
پرند بدون سرنشین مالتی‌روتور^۱ مجهز به سنجنده چندطیفی با قابلیت اخذ تصاویر با توان تفکیک مکانی مناسب به منظور ثبت رفتار طیفی درختان منطقه‌ی مورد مطالعه، مورد استفاده قرار گرفته است. اطلاعات کامل‌تر مربوط به این سکو در جدول (۲) نمایش داده شده است.



شکل ۶: سکو هوایی

برای این تحقیق از سنجنده چندطیفی در حالت چندعدسی استفاده شده است. طراحان این سنجنده از پنج باند طیفی با پهنای باند باریک در محدوده‌ی طیفی قرمز، آبی، سبز، لکه قرمز و مادون قرمز نزدیک با هدف ثبت اطلاعات طیفی گیاهان استفاده شده است. حساسیت باندهای باریک نسبت به باندهای عریض‌تر در تهیه شاخص‌های گیاهان و ثبت رفتار طیفی گیاهان بیشتر است. مشخصه دیگر این سنجنده استفاده از ۵ عدسی مجزا بجای استفاده از یک عدسی می‌باشد که می‌تواند به صورت همزمان عمل تصویربرداری را انجام دهد. مشخصات مربوط به

^۱Multi rotor



شکل ۵. مفهوم فاصله‌ی جداکننده در

الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان

طبقه‌بندی کننده‌ی ماشین‌های بردار پشتیبان در مرحله‌ی آموزش به طور مستقیم با استفاده از یک فرآیند بهینه‌سازی و با به کار بردن بردارهایی از توصیفگرها یا ویژگی‌های استخراج شده‌ی موجود، در فضای ورودی، به دنبال داده‌ها یا نمونه‌های آموزشی می‌گردد، که مرز بین کلاس‌ها را مشخص می‌کنند. طبقه‌بندی کننده‌ی ماشین‌های بردار پشتیبان با استفاده از این نمونه‌های آموزشی که بردارهای پشتیبان نامیده می‌شوند، فاصله‌ی بهینه‌ی جداکننده‌ی کلاس‌ها و مرز تصمیم‌گیری بهینه را تعیین می‌کند. رابطه (۳) نشان دهنده‌ی رابطه‌ی یک فاصله‌ی به منظور جدایی فضای ویژگی ورودی می‌باشد. در انتها طبقه‌بندی کننده‌ی آموزش دیده می‌تواند به منظور طبقه‌بندی سایر نمونه‌ها به کار برده شود.

$$\text{رابطه (۳)} \quad A = \text{sign}(w \cdot x + b)$$

هدف در مرحله آموزش ماشین‌های بردار پشتیبانی یافتن مقادیر w و b می‌باشد بگونه‌ای که حاشیه بین دو کلاس بیشینه شود. میتوان نشان داد که بیشینه کردن حاشیه بین دو کلاس معادل کمینه سازی نرْم بردار w می‌باشد. در این حالت تابع هدف با رابطه (۴) زیر بیان می‌شود.

$$\begin{aligned} \text{رابطه (۴)} \quad \min_{w,b} \|w\|^2 \\ \text{subject to:} \quad y_i(w \cdot x_i + b) - 1 \geq 0 \end{aligned}$$

عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. شهرستان داراب دارای آب و هوایی بسیار گرم است. بارش برف در زمستان به ندرت در این منطقه مشاهده می‌شود. باغ‌های گسترده پرتقال، نارنج، لیمو و خرما در این منطقه وجود دارد. نمونه‌برداری از این منطقه در پاییز ۱۳۹۵ انجام شده است، باغ مرکبات مورد نظر در روستای حسن‌آباد در ۳۰ کیلومتری شهر داراب واقع است.

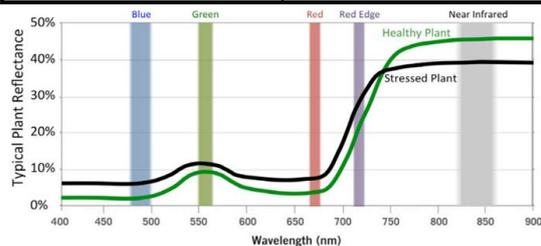
جدول ۳: مشخصات سنجنده چندطیفی / چند عدسی

وزن	۱۵۰ گرم
ابعاد	۱۲.۱ × ۶.۶ × ۴.۶ سانتی متر
باندهای طیفی	آبی، سبز، قرمز، لبه قرمز و مادون قرمز نزدیک
نرخ تصویر برداری	هر ثانیه یک تصویر
میدان دید	۴۷.۲ درجه

این سنجنده در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۲: مشخصات سکوی هوایی

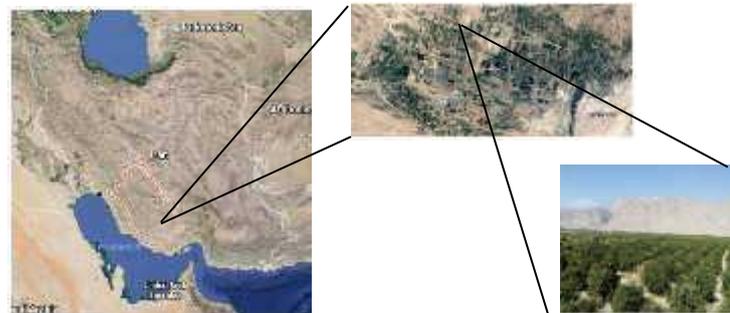
مدامت پرواز	۳۰-۴۰ دقیقه
حداکثر ارتفاع پرواز	۲۰۰۰ متر از سطح دریا
ابعاد	۱.۲ متر
سرعت بهینه	۲۰ کیلومتر بر ساعت



شکل ۷: موقعیت قرارگیری باندهای طیفی و پهنای باند مربوط به آن

۲-۴- منطقه مورد مطالعه

شهرستان داراب واقع در جنوب استان فارس، با مشخصات جغرافیایی (۲۸.۹۱۰۶۹۴، ۵۴.۴۴۹۹۶۰)، به



شکل ۸: موقعیت منطقه مورد مطالعه واقع در استان شیراز شهرستان داراب



شکل ۹: طراحی پرواز

عملیات پرواز در مدت ۲۶ دقیقه در ارتفاع ۶۰ متری با ۲۵ باند پرواز با پوشش طولی و عرضی در حدود ۷۰٪ طراحی شده است. سرعت سکو ۲۰ کیلو متر بر ساعت و توان تفکیک مکانی تصاویر ۳/۶ سانتی‌متر حاصل شده است. در شکل (۹) خطوط پرواز و در جدول (۴) اطلاعات پرواز نشان داده شده است.

جدول ۴: مشخصات طراحی پرواز

تعداد تصاویر	۹۴۸
تعداد باندها	۱۶
زمان پرواز	۳۶ دقیقه
همپوشانی	۷۰ درصد
ارتفاع	۶۰ متر
مساحت	۹.۲ هکتار
توان تفکیک مکانی	۳.۶ سانتی متر

۴-۳- نتایج عملی

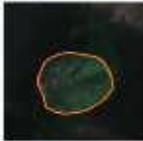
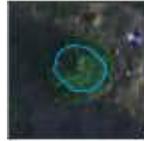
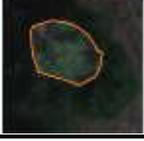
پس از معرفی سکو و سنجنده تصویر برداری در ادامه به مرور نتایج به دست آمده در هر یک از مراحل روش پیشنهادی در ارزیابی بیماری زوال درختان پرتقال منطقه داراب پرداخته شده است.

۴-۳-۱- داده‌های میدانی

همزمان با عملیات پرواز و تصویربرداری، به منظور تهیه

داده‌های آموزشی برای الگوریتم طبقه‌بندی، و اطمینان از عملکرد آن (داده‌های ارزیابی)، وضعیت بیماری تعدادی از درختان توسط کارشناسان بررسی و اطلاعات آنها جمع‌آوری گردید. همچنین موقعیت درختان بیمار و سالم به منظور پردازش‌های آتی توسط GPS ثبت گردید. کارشناسان حفظ نباتات، ۶ اصله از درختان را به عنوان درختان بیمار شناسایی نمودند. در شکل (۱۰) موقعیت درختان بیمار و سالم (داده‌های آموزشی)، شناسایی شده به منظور آموزش الگوریتم طبقه‌بندی، نشان داده شده است. اعداد نشان داده شده در تصویر برای رنگ آبی و قرمز به ترتیب برای درختان سالم و بیمار در نظر گرفته شده است. در جدول (۵) نحوه نمونه‌برداری برای داده‌های آموزشی و ارزیابی از درختان سالم و بیمار نشان داده شده است.

جدول ۵: نحوه نمونه‌برداری از داده‌های آموزشی و ارزیابی

درخت بیمار		درخت سالم	
داده‌های ارزیابی	داده‌های آموزشی	داده‌های ارزیابی	داده‌های آموزشی
1 	4 	1 	4 
2 	5 	2 	5 
3 	6 	3 	6 

در کنار تصاویر اخذ شده، به کمک دستگاه GPS تعداد ۲۰ نقطه کنترل به منظور استفاده در مرحله تولید ارتوموزائیک برداشت شده است. در شکل (۱۱ الف) موقعیت ایستگاه‌های زمینی طراحی شده نمایش داده شده است.



شکل ۱۰: موقعیت درختان بیمار و سالم، مربوط به داده‌های آموزشی شناسایی شده توسط کارشناسان حفظ نباتات



پ



ب



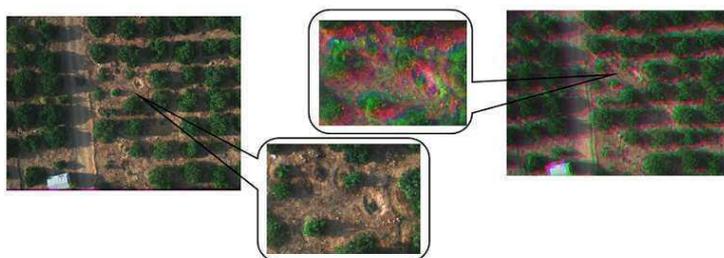
الف

شکل ۱۱: الف) موقعیت نقاط کنترل زمینی مشاهده شده توسط GPS (ب) نمونه‌ای از نقاط کنترل زمینی طراحی شده (پ) تصویر برداشت شده از نقطه کنترل زمینی توسط سنجنده چندطیفی در ارتفاع ۶۰ متری

به دلیل تصویربرداری با عدسی‌های مجزا، باندهای تصویری در برخی نقاط در حدود چند پیکسل جابجایی موقعیت دارند که در نتیجه اعمال مرحله هم مرجع‌سازی این جابجایی از بین می‌رود. دقت هم مرجع‌سازی در این مرحله کمتر از اندازه پیکسل حاصل شده است.

۴-۳-۲- هم مرجع‌سازی تصاویر

اولین مرحله پس از جمع‌آوری داده‌های میدانی، هم مرجع‌سازی باندهای طیفی تولید شده به کمک دوربین چند طیفی می‌باشد. در شکل زیر نمونه‌ای از هم مرجع‌سازی تصاویر در یک لحظه تصویربرداری با استفاده از الگوریتم SIFT نمایش داده شده است.



شکل ۱۲: نمونه‌ای از هم مرجع‌سازی تصاویر در مقایسه با تصاویر اولیه

۴-۳-۳- تهیه ارتوموزائیک

تعداد ۹۳۷ تصویر به منظور پوشش منطقه در ارتفاع تصویربرداری ۶۰ متر، با پوشش طولی و عرضی ۷۰ درصد تهیه شده است. این تصاویر پس از انجام مرحله هم مرجع سازی وارد بخش تولید ارتوموزائیک می شوند.



شکل ۱۳: تصویر ارتوموزائیک در مقیاس های متفاوت

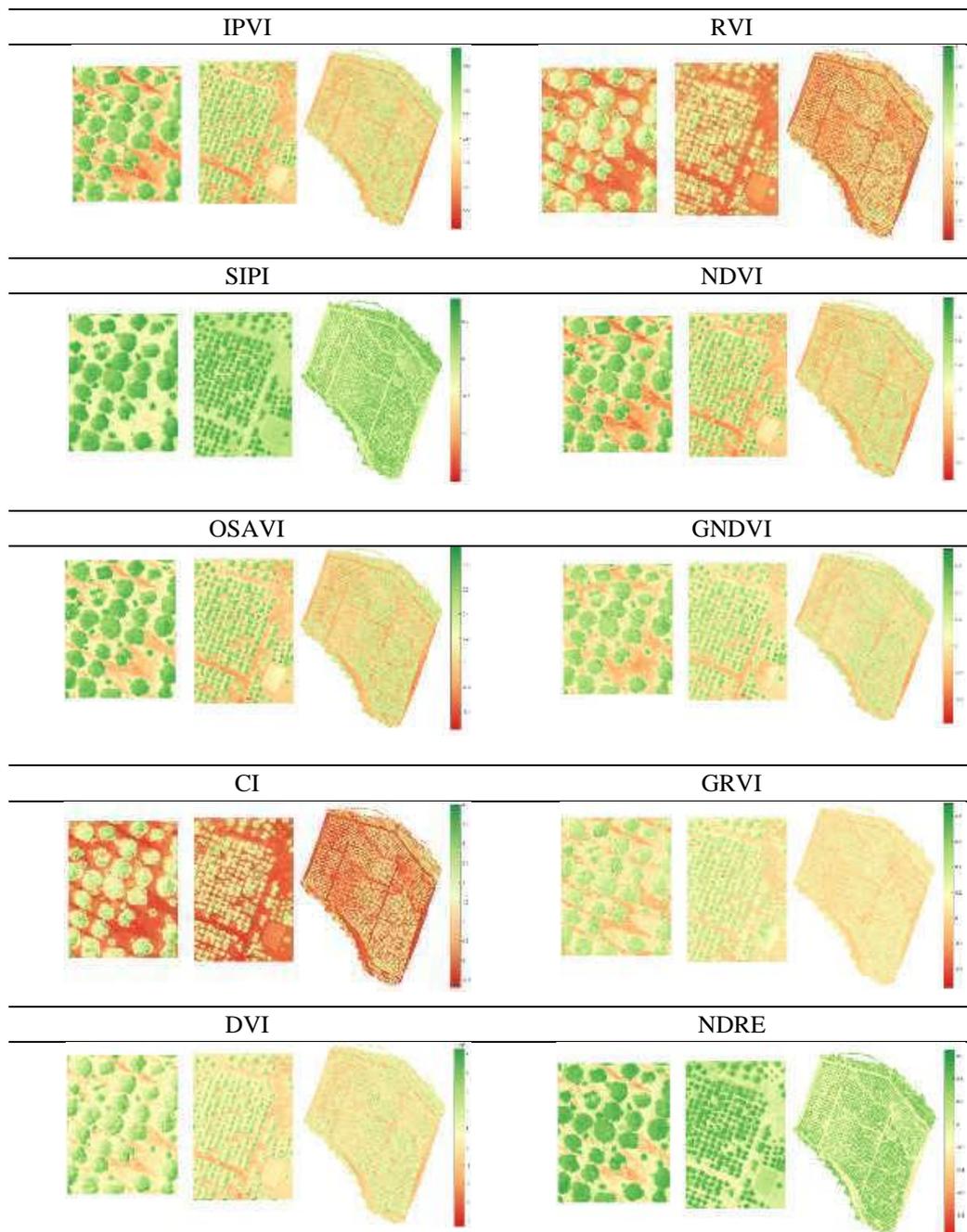
بعد به منظور تصمیم گیری وارد بخش طبقه بندی می شوند. الگوریتم طبقه بندی در مرحله اول برای جداسازی کلاس درخت از مناطق دیگر مانند خاک، آب و سایر گیاهان به غیر از درختان و در مرحله بعد برای جداسازی درختان سالم از درختان بیمار استفاده شده است. نتایج مربوط به این طبقه بندی به ترتیب در شکل های (۱۵ و ۱۶) نشان داده شده است.

۴-۳-۴- استخراج شاخص های گیاهی

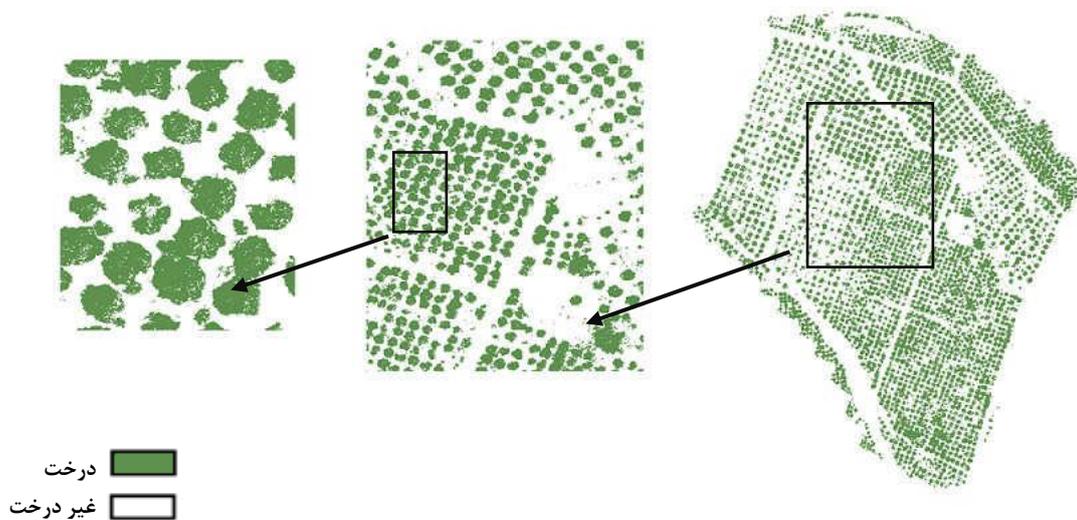
پس از تولید ارتوموزائیک تصاویر، شاخص های گیاهی ذکر شده در جدول (۱)، به منظور بهبود عملکرد الگوریتم طبقه بندی محاسبه شده اند و به عنوان فضای ویژگی، همراه با پنج باند طیفی اولیه، برای آموزش الگوریتم طبقه بندی مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل (۱۴)، تصویر شاخص های گیاهی مورد استفاده در سه مقیاس عکسی نشان داده شده است.

۴-۳-۵- طبقه بندی

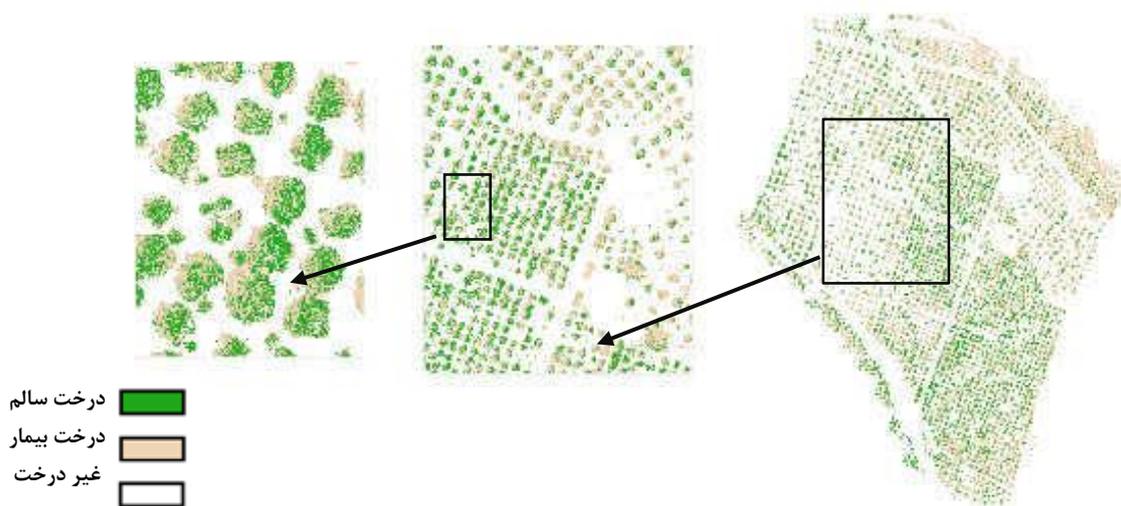
شاخص های گیاهی استخراج شده از تصاویر در مرحله



شکل ۱۴: شاخص‌های گیاهی مورد استفاده



شکل ۱۵: طبقه‌بندی بین پیکسل درخت و پیکسل غیر درخت



شکل ۱۶: تصویر طبقه‌بندی شده منطقه

بیماری برای یک درخت را با مشکل مواجه ساخته است.

جدول ۶: نتیجه طبقه‌بندی مربوط به داده‌های ارزیابی

	نمونه ارزیابی بیمار	نمونه ارزیابی سالم	
۱			
۲			
۳			

به منظور ارزیابی توانایی الگوریتم طبقه‌بندی مورد استفاده از میان نمونه‌های برداشت شده تعداد ۶ اسله از درختان به عنوان درختان بیمار و درختان سالم، برای داده‌های آموزشی و همچنین داده‌های ارزیابی انتخاب شده است. در جدول (۶)، نتیجه طبقه‌بندی مربوط به داده‌های ارزیابی نشان داده شده است. با وجود اینکه حداکثر پیکسل‌های موجود در هر درخت به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند. تعداد پیکسل‌هایی که به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند نیز قابل توجه می‌باشد. این عامل تصمیم‌گیری در مورد وجود یا عدم وجود

۴-۴- ارزیابی نتایج

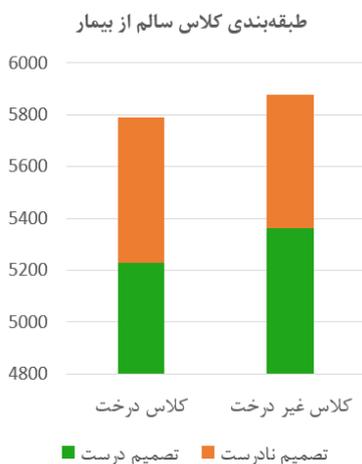
به دلیل طبقه‌بندی در سطح پیکسل هم مرجع‌سازی تصاویر اهمیت زیادی دارد. حتی خطایی در حد یک پیکسل باعث تضعف عملکرد طبقه‌بندی می‌شود. در جدول (۷ و ۸)، ماتریس ابهام و دقت‌های کلی مربوط به هر کدام از طبقه‌بندی‌کننده‌ها نمایش داده شده است. دقت کلی ۹۷ درصد برای جداسازی کلاس درختان از دیگر کلاس‌ها و همچنین دقت کلی ۹۰ درصد در جداسازی درختان بیمار از سالم حاصل شده است که نشان دهنده عملکرد مناسب الگوریتم طبقه‌بندی در این تحقیق می‌باشد.

جدول ۷: ماتریس ابهام برای طبقه‌بندی درخت از غیردرخت

تعداد کل پیکسل‌ها ۱۱۶۶۶		تعداد پیکسل‌های پیش‌بینی شده	
		درخت	غیر درخت
تعداد پیکسل‌های واقعی	درخت	۵۲۲۸	۵۶۰
	غیردرخت	۵۱۷	۵۳۶۱
دقت کلی:		۹۷٫۷۰	درصد

جدول ۸: ماتریس ابهام برای طبقه‌بندی کلاس سالم از بیمار

تعداد کل پیکسل‌ها ۵۱۵۸۸		تعداد پیکسل‌های پیش‌بینی شده	
		درختان سالم	درختان بیمار
تعداد پیکسل‌های واقعی	درختان سالم	۲۵۲۹۶	۴۹۸
	درختان بیمار	۶۸۴	۲۵۱۱۰
دقت کلی:		۹۰٫۰۷	درصد



شکل ۱۷: نمودار مقایسه دقت طبقه‌بندی

در سطح پیکسل، تصمیم‌گیری در مورد وجود بیماری برای یک درخت را با مشکل روبرو ساخته است. چرا که در میان پیکسل‌های یک درخت، هم پیکسل‌های بیمار و هم پیکسل‌های سالم دیده می‌شوند.

بدلیل توان تفکیک مکانی ۳.۷۵ سانتی‌متری فاصله بین درختان و سایه درختان به‌خوبی قابل شناسایی است. شباهت در رفتار طیفی سایر گیاهان نسبت به درختان باعث تضعیف عملکرد طبقه‌بندی می‌شود (شکل (۱۸)). از طرفی طبقه‌بندی

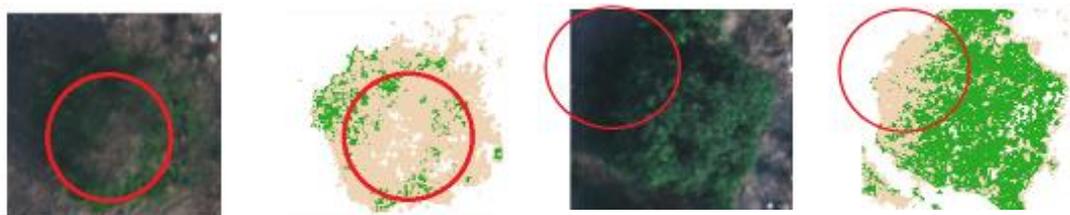
فرآیند ارتوموزاییک بر روی مقادیر درجات خاکستری باندها بدلیل نمونه برداری، می تواند باعث تشدید این خطا شود.

از جمله عوامل تضعیف کننده عملکرد طبقه بندی وجود سایه درختان که رفتار طیفی نزدیک به درختان بیمار دارند، می باشد. این عامل بیشتر در سمت مخالف زاویه تابش نور آفتاب در لبه تصویر درختان دیده می شود. تاثیر این عامل را می توان در تصویر طبقه بندی شده در شکل (۱۹ الف) مشاهده کرد. عامل مشابه دیگر شاخه های خشک درختان می باشد. این عامل که رفتاری شبیه به کلاس غیردرخت دارد. باعث قرار گرفتن پیکسل های این کلاس در بین پیکسل های درختان می شود (شکل (۱۹ ب)).



شکل ۱۸. تاثیر سایر گیاهان موجود در منطقه بر نتیجه طبقه بندی

در جدول (۷)، نتیجه طبقه بندی بر روی داده های ارزیابی نشان داده شده است. همان طور که از تصاویر مشخص است، خطای لفل نمکی در برخی مناطق از تصویر بر روی نتیجه طبقه بندی پدیدار شده است. علاوه بر این که این خطا یکی از معایب جدایی ناپذیر طبقه بندی در سطح پیکسل می باشد، خطا در هم مرجع سازی باندهای تصویری و همچنین تاثیرات



شکل ۱۹ الف) تاثیر سایه درختان بر عملکرد طبقه بندی ب) تاثیر شاخ و برگ خشکیده درختان بر عملکرد طبقه بندی

خوزستان و فارس می باشد. کاربرد سنجش از دور در تشخیص این بیماری در زمین های کشاورزی، براساس اثر متقابل امواج الکترومغناطیس بر روی خاک و سطح گیاهان می باشد. و بدلیل تفاوت در مقدار انرژی بازتابشی در طول موج های مرئی و مادون قرمز در گیاهان سالم و بیمار، می توان با ثبت رفتار طیفی این تفاوت ها را کشف کرد و از طریق آن پی به بیماری و شدت آن برد. از طرفی تولید دوربین های حرارتی و چندطیفی سبک وزن قابل نصب بر روی سامانه های بدون سرنشین هوا برد باعث گسترش فعالیت های سنجش از دوری در زمینه کشاورزی دقیق شده است. این تحقیق امکان تمایز میان درختان مبتلا به بیماری زوال و درختان سالم با استفاده از تصاویر چندطیفی و

نتایج حاصل نشان می دهد که بیماری زوال در قسمت شمال شرقی باغ شیوع بیشتری نسبت به دیگر مکان ها دارد و در مرکز تعداد درختان سالم بیشتری به چشم می خورد. تنها ۳۰ درصد از پیکسل های مربوط به درختان به عنوان پیکسل های سالم شناسایی شده اند. کمتر بودن تعداد درختان سالم نسبت به درختان بیمار برای باغ هایی که دچار بیماری شده اند، یافتن داده های آموزشی، برای درختان سالم را با مشکل مواجه می کند.

۵- نتیجه گیری

بیماری زوال مرکبات یکی از عوامل تهدیدکننده ی مزارع مرکبات، مخصوصا در نواحی گرمسیری مانند

بیماری برای یک درخت را با مشکل مواجه ساخته است. حضور علف‌های هرز، شاخ و برگ خشکیده درختان و سایه درختان باعث تضعیف عملکرد طبقه‌بندی می‌شود که می‌تواند در ادامه تحقیقات مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

در نهایت برای پژوهشگرانی که قصد مطالعه در این زمینه را دارند پیشنهاد می‌شود از دیگر سنجنده‌های هوایی که مناسب برای تشخیص بیماری هستند و همچنین توانایی این سنجنده‌ها در تشخیص انواع مختلف بیماری مورد توجه قرار گیرد.

سامانه‌های هوابرد بدون سرنشین را بررسی نموده است. نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی دقت کلی ۹۰ درصد را برای طبقه‌بندی نشان می‌دهد. توان تفکیک زمانی، مکانی و طیفی مناسب این سامانه‌ها و استفاده از دوربین‌هایی با پهنای باند باریک موجب شده است که این سامانه‌ها به صورت خاص برای کاربردهای کشاورزی قابل استفاده باشند.

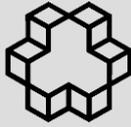
طبقه‌بندی در مزارعی که دچار بیماری هستند اساساً بدلیل کمبود داده‌های آموزشی برای درختان سالم کار مشکلی است و این عامل باعث کاهش اطمینان به نتیجه طبقه‌بندی می‌شود. همچنین طبقه‌بندی در سطح پیکسل، تصمیم‌گیری در مورد وجود یا عدم

مراجع

- [1] R. Lal and F. Pierce, "Soil management for sustainability," *FUTURE HORIZONS: RECENT LITERATURE IN SUSTAINABLE AGRICULTURE*, p. 175, 1997.
- [2] N. Zhang, M. Wang, and N. Wang, "Precision agriculture—a worldwide overview," *Computers and electronics in agriculture*, vol. 36, pp. 113-132, 2002.
- [3] D. Mulla, "Geostatistics, remote sensing and precision farming," *Precision Agriculture: spatial and temporal variability of environmental quality*, pp. 100-119, 1997.
- [4] W. Bausch and R. Khosla, "QuickBird satellite versus ground-based multi-spectral data for estimating nitrogen status of irrigated maize," *Precision Agriculture*, vol. 11, pp. 274-290, 2010.
- [5] P. K. Goel, S. O. Prasher, J.-A. Landry, R. M. Patel, R. Bonnell, A. A. Viau, et al., "Potential of airborne hyperspectral remote sensing to detect nitrogen deficiency and weed infestation in corn," *Computers and electronics in agriculture*, vol. 38, pp. 99-124, 2003.
- [6] D. Haboudane, J. R. Miller, N. Tremblay, P. J. Zarco-Tejada, and L. Dextraze, "Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture," *Remote sensing of environment*, vol. 81, pp. 416-426, 2002.
- [7] Y. Miao, D. J. Mulla, G. Randall, J. Vetsch, and R. Vintila, "Predicting chlorophyll meter readings with aerial hyperspectral remote sensing for in-season site-specific nitrogen management of corn," *Precision agriculture*, vol. 7, pp. 635-641, 2007.
- [8] S. Herwitz, L. Johnson, S. Dunagan, R. Higgins, D. Sullivan, J. Zheng, et al., "Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support," *Computers and electronics in agriculture*, vol. 44, pp. 49-61, 2004.
- [9] J. A. Berni, P. J. Zarco-Tejada, L. Suárez, and E. Fereres, "Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 47, pp. 722-738, 2009.
- [10] D. Long, R. Engel, and M. Siemens, "Measuring grain protein concentration with in-line near infrared reflectance spectroscopy," *Agronomy Journal*, vol. 100, pp. 247-252, 2008.

- [11] V. I. Adamchuk, J. Hummel, M. Morgan, and S. Upadhyaya, "On-the-go soil sensors for precision agriculture," *Computers and electronics in agriculture*, vol. 44, pp. 71-91, 2004.
- [12] B. Åstrand and A.-J. Baerveldt, "An agricultural mobile robot with vision-based perception for mechanical weed control," *Autonomous robots*, vol. 13, pp. 21-35, 2002.
- [13] J.-P. Jhan, J.-Y. Rau, and C.-Y. Huang, "Band-to-band registration and orthorectification of multilens/multispectral imagery: A case study of MiniMCA-12 acquired by a fixed-wing UAS," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 114, pp. 66-77, 2016.
- [14] J. Torres-Sánchez, J. Peña, A. De Castro, and F. López-Granados, "Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 103, pp. 104-113, 2014.
- [15] M. E. Bauer and J. E. Cipra, "Identification of agricultural crops by computer processing of ERTS MSS data," 1973.
- [16] N. Jewell, "An evaluation of multi-date SPOT data for agriculture and land use mapping in the United Kingdom," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 10, pp. 939-951, 1989.
- [17] S. K. Seelan, S. Laguetta, G. M. Casady, and G. A. Seielstad, "Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach," *Remote Sensing of Environment*, vol. 88, pp. 157-169, 2003.
- [18] L. G. Torres, J. M. Peña-Barragán, F. López-Granados, M. Jurado-Expósito, and R. Fernández-Escobar, "Automatic assessment of agro-environmental indicators from remotely sensed images of tree orchards and its evaluation using olive plantations," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 61, pp. 179-191, 2008.
- [19] H. Xiang and L. Tian, "Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV)," *Biosystems engineering*, vol. 108, pp. 174-190, 2011.
- [20] F. Agüera, F. Carvajal, and M. Pérez, "Measuring sunflower nitrogen status from an unmanned aerial vehicle-based system and an on the ground device," *Int. Arch. Photogram. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 38, pp. 33-37, 2011.
- [21] F. Garcia-Ruiz, S. Sankaran, J. M. Maja, W. S. Lee, J. Rasmussen, and R. Ehsani, "Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 91, pp. 106-115, 2013.
- [22] S. Nebiker, N. Lack, M. Abächerli, and S. Läderach, "Light-Weight Multispectral Uav Sensors and Their Capabilities for Predicting Grain Yield and Detecting Plant Diseases," *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp. 963-970, 2016.
- [23] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," *International journal of computer vision*, vol. 60, pp. 91-110, 2004.
- [24] M. Westoby, J. Brasington, N. Glasser, M. Hambrey, and J. Reynolds, "'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for Geosciences applications," *Geomorphology*, vol. 179, pp. 300-314, 2012.
- [25] R. L. Pearson and L. D. Miller, "Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie," in *Remote Sensing of Environment*, VIII, 1972, p. 1355.
- [26] J. Rouse, "Monitoring the vernal advancement and retro gradation of natural vegetation [NASA/GSFCT Type II Report]," Greenbelt, MD: NASA/Goddard Space Flight Center, 1973.
- [27] J. Clevers, "The application of a vegetation

- index in correcting the infrared reflectance for soil background," in Remote sensing for resources development and environmental management. International symposium. 7, 1986, pp. 221-226.
- [28] R. E. Crippen, "Calculating the vegetation index faster," Remote Sensing of Environment, vol. 34, pp. 71-73, 1990.
- [29] P. Chamard, M. Courel, M. Ducouso, M. Guénéguou, J. Le Rhun, J. Levasseur, et al., "Utilisation des bandes spectrales du vert et du rouge pour une meilleure évaluation des formations végétales actives," Télédétection et Cartographie, pp. 203-209, 1991.
- [30] J. PENUELAS, I. Filella, P. Lloret, F. MUNOZ, and M. Vilajeliu, "Reflectance assessment of mite effects on apple trees," International Journal of Remote Sensing, vol. 16, pp. 2727-2733, 1995.
- [31] G. Rondeaux, M. Steven, and F. Baret, "Optimization of soil-adjusted vegetation indices," Remote sensing of environment, vol. 55, pp. 95-107, 1996.
- [32] F.-M. Wang, J.-F. Huang, Y.-L. Tang, and X.-Z. Wang, "New vegetation index and its application in estimating leaf area index of rice," Rice Science, vol. 14, pp. 195-203, 2007.
- [33] E. Barnes, T. Clarke, S. Richards, P. Colaizzi, J. Haberland, M. Kostrzewski, et al., "Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data," in Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, MN, 2000, pp. 16-19.
- [34] C. Cortes and V. Vapnik, "Support-vector networks," Machine learning, vol. 20, pp. 273-297, 1995.



Diagnosis decline in citrus using multispectral camera-equipped unmanned aerial system

Erfan Seidipoor¹, Farhad Samadzadegan², Farzaneh Dadras Javan³, Omid Askari⁴

1- MSc student of Remote Sensing, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran

2- Professor, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran

3- Assistant professor, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran

4- Master of Environment, Deputy Forecasting and integrated pest management, Plant Protection Organization

Abstract

Today getting access to the monitoring systems with high accuracy in order to produce healthy agricultural products has been raised though the following effective factors are of high importance as well; prevent pest risk and reduce the coast raised from unmanned aerial systems according to low cost, low weight, possibility of taking images in cloudy weather under the cover of clouds, flexibility in time and high spatial resolution imaging which are usable in obtaining remote sensing data and considerable interest. In this regard, the use of these systems shows high potential in obtaining required data in monitoring products and provided control. In this paper, multi-spectral sensor mounted on an unmanned airborne platform in the health status of the regional citrus trees infected with the decline disease in the Fars province investigated. Using data by this system, classified images of studied area based on vegetation index and distinctions between healthy and infected trees, use of SVM are provided. Collected ground data shows the feasibility of these methods in tree's health status diagnosis. About 90 percent overall accuracy was achieved in the trees classification.

Key words: Citrus farms, Precision Agriculture, Multispectral Images, Unmanned Aerial Vehicle.