



ارزیابی قابلیت طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۲A در تعیین محدوده و سطح زیر کشت ارقام پسته

هادی زارع خورمیزی^{۱*}، حمیدرضا غفاریان مالمیری^۲، مراد مرتاض^۳

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. استادیار گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، ایران

۳. دانش آموخته کارشناسی ارشد باغبانی و زراعت، دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه کالیفرنیا، دیویس، کالیفرنیا

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۳۰ آذر ۱۳۹۸

پذیرش: ۱۷ اسفند ۱۳۹۸

دسترسی اینترنتی: ۲۸ فروردین ۱۳۹۹

واژه‌های کلیدی:

طبقه‌بندی نظارت شده

طبقه بندی الگوریتم حداکثر تشابه

ارقام پسته

ضریب کاپا

سنجش از دور

چکیده

فن‌آوری سنجش از دور یکی از ابزارهای کارآمد برای پایش، مطالعه و تعیین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و باغی بویژه در سطوح وسیع می‌باشد. برنامه‌ریزان، مدیران و کشاورزان با آگاهی از نوع رقم و سطح زیر کشت محصولات کشاورزی می‌توانند سیاست‌های مدیریتی و اجرایی مناسبی اتخاذ نمایند. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی قابلیت طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر ماهواره‌ای چند باندهای لندست-۸ و سنتینل-۲A در تعیین محدوده، سطح زیر کشت و نوع رقم چهار نوع پسته اکبری، کله فوجی، احمد آقایی و فندوقی در یک مزرعه مطالعاتی در استان یزد می‌باشد. دقت چهار الگوریتم طبقه بندی متوازی السطوح، کمترین فاصله، فاصله مالهالانویس و بیشترین تشابه و همچنین بهترین زمان در تفکیک ارقام پسته مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج، الگوریتم حداکثر تشابه در طبقه‌بندی تصویری در تاریخ ۲۲ خرداد ۱۳۹۷ ماهواره لندست-۸ با دقت نهایی و ضریب کاپای به ترتیب ۷۶/۸ درصد و ۰/۶۷ از بالاترین دقت و الگوریتم طبقه‌بندی متوازی السطوح به ترتیب با دقت نهایی و ضریب کاپای ۶۴/۷ و ۰/۴۷ از کمترین دقت برخوردار بود. همچنین بر اساس نتایج، بهترین زمان برای تفکیک ارقام پسته مورد بررسی اواخر خرداد می‌باشد. به طوری که ضریب کاپای طبقه‌بندی با الگوریتم حداکثر تشابه در تصویر تاریخ ۲۲ خرداد ۱۳۹۷ ماهواره لندست، ۰/۶۷ و به ترتیب در تاریخ‌های ۲۳ تیر، ۲۴ مرداد و ۲۵ شهریور ۰/۶۴، ۰/۶۳ و ۰/۶۳ بدست آمد. دقت نهایی و ضریب کاپای طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم حداکثر تشابه در تصویر تاریخ ۲۴ خرداد ۱۳۹۷ ماهواره سنتینل-۲A به ترتیب ۸۰ درصد و ۰/۷۱ بدست آمد. با انجام عمل فیلتر میانه با اندازه پنجره سه در سه بر روی تصویر طبقه‌بندی شده سنتینل-۲A میزان دقت نهایی و ضریب کاپا به ترتیب به ۸۲/۶ و ۰/۷۵ افزایش یافت. دقت نهایی و ضریب کاپای طبقه‌بندی و تفکیک ارقام پسته در تصاویر سنتینل-۲A نسبت به تصاویر لندست ۸ بالاتر بود. در مجموع بر اساس نتایج، تکنیک‌های طبقه‌بندی سنجش از دور و نیز تصاویر ماهواره‌ای چند باندهای، از قابلیت مناسبی برای نقشه‌برداری کشاورزی و باغی برخوردار می‌باشند.

*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: hadi.zarekh@ut.ac.ir

مقدمه

تکنیک‌های سنجش‌ازدور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای، یکی از روش‌های بسیار کارآمد در مطالعات مربوط به کشاورزی دقیق، مانند تعیین نوع ارقام و سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و باغی به‌ویژه در سطوح وسیع است. مدیران در سطوح مختلف با آگاهی از سطح زیر کشت محصولات کشاورزی، قادر خواهند بود تا تصمیم‌گیری‌های صحیح‌تری اعمال نمایند (۱۰، ۲۳ و ۲۴). امروزه استفاده از تکنولوژی سنجش‌ازدور به‌طور گسترده به‌منظور نقشه‌برداری کشاورزی، باغی و برنامه‌های کاربردی کشاورزی نظیر شناسایی محصول گسترش‌یافته است. این مهم به دلیل قابلیت پوشش وسیع‌تر، ارزان‌تر و سریع‌تر بودن سنجش‌ازدور نسبت به روش‌های سنتی نقشه‌برداری و اندازه‌گیری میدانی است (۲۱، ۲۸ و ۳۲). باین‌حال در زمینه طبقه‌بندی و تفکیک محصولات کشاورزی و باغی مختلف چندین محدودیت وجود دارد (۳۳ و ۳۶). اولین مشکل شباهت منحنی رفتار طیفی، شکل و بافت بین محصولات مختلف به‌ویژه بین ارقام و گونه‌های مختلف یک جنس در تصاویر چند طیفی، دوم کاهش دقت طبقه‌بندی‌های صورت گرفته به علت وجود کلاس‌های ناهمگون در بین بافت همگن (بافت فلفل نمکی ایجادشده Salt and Pepper Pattern) و سومین محدودیت وجود پیکسل‌های ناخالص (Mixed Pixel) به دلیل قدرت تفکیک مکانی کم در پیکسل‌های تصویر است که در این حالت بازتاب طیفی یک پیکسل مجموعی از بازتاب عناصر آن پیکسل است. بیشتر سنجنده‌های چند طیفی دارای ۳ تا ۱۰ باند طیفی در محدوده مرئی و مادون‌قرمز طیف الکترومغناطیس هستند. این سنجنده‌ها امکان تفکیک و تبعیض انواع مختلف پوشش گیاهی، سنگ‌ها، خاک، آب روشن و کثیف و مواد ساخته‌شده بشری را می‌دهند (۳۱). بر همین اساس، از جمله کاربردهای وسیع در طبقه‌بندی داده‌های سنجش‌ازدور تهیه نقشه‌های کاربری و پوششی اراضی است (۲۹). در این زمینه پژوهش‌های زیادی به‌طور موفقیت‌آمیز داده‌های سنجنده‌های چند طیفی را در تهیه نقشه پوشش و کاربری اراضی و همچنین

بررسی تغییرات آن‌ها مورد استفاده قرار داده‌اند (۴، ۷، ۸، ۱۳ و ۱۴). همچنین تکنیک‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تعیین سطح زیر کشت محصولات مختلف کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. در پژوهشی قابلیت تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در تخمین سطح زیر کشت زعفران در شهرستان تربت‌حیدریه بررسی شد. در این پژوهش نشان داده شد تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ از قابلیت بالایی برای تفکیک سریع اراضی زعفران برخوردار هستند، به طوری که ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب ۸۸ و ۹۸ درصد محاسبه شد (۱۲). در مطالعه‌ای دیگر از تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺ برای تعیین سطح زیر کشت محصولات مختلف نیز گندم، جو، گوجه‌فرنگی، ذرت علوفه‌ای، یونجه‌های یک‌ساله و چندساله و خربزه استفاده شد. در این مطالعه ضریب کاپا و دقت کلی برای روش حداکثر احتمال به ترتیب ۸۲ و ۸۵ و برای شبکه عصبی مصنوعی ۸۴ و ۸۷ درصد برآورد شد (۱۰). در پژوهشی دیگر نیز نشان داده شد روش ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine) با ضریب کاپای ۰/۸ نسبت به شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد تغییرات سطح زیرکشت گندم و سویا در غرب استان گلستان موفق‌تر است (۹).

تیپ‌های گیاهی مختلف جنگلی و مرتعی نیز با توجه به حضور گونه‌های گیاهی مختلف با ترکیب‌های متفاوت، دارای بازتاب‌های طیفی منحصر به منفرد می‌باشند. قابلیت تصاویر چند طیفی سنجنده‌های مختلف در زمینه تفکیک و تهیه نقشه تیپ‌های پوشش گیاهی در پژوهش‌هایی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در مطالعه‌ای داده‌های ETM⁺ و LISS III برای تهیه نقشه تیپ در جنگل‌های زاگرس مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این مطالعه کارایی بهتر الگوریتم حداکثر تشابه نسبت به الگوریتم متوازی‌السطوح (Parallelepiped) و کمترین فاصله از میانگین را نشان داد (۳). در مطالعه علی‌محمدی و همکاران (۱۱) دیگر روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه، شیء پایه و درخت تصمیم‌گیری در تهیه نقشه تیپ‌های جنگل آستارا با استفاده از تصاویر SPOT5 مورد بررسی قرار گرفت. در این روش بالاترین میزان دقت کلی و ضریب کاپا به ترتیب با میزان ۷۶/۵

همکاران (۱۵) پنج رقم سویا با استفاده از تصاویر ابر طیفی سنجنده هایپریون و شبیه‌سازی محدوده‌های طیفی هفت سنجنده چند طیفی با استفاده از اطلاعات سنجنده هایپریون را طبقه‌بندی کردند. بر اساس نتایج این مطالعه، الگوریتم حداکثر تشابه با دقت نهایی ۸۹/۸۰ درصد نسبت به الگوریتم‌های نقشه‌بردار زاویه طیفی، ماشین بردار پشتیبان و واگرایی اطلاعات طیفی (Spectral Information Divergence) دارای عملکرد بهتری است. همچنین با کاربرد الگوریتم حداکثر تشابه بر داده‌های شبیه‌سازی‌شده، سنجنده‌های MODIS و ETM⁺ به ترتیب دقت نهایی ۸۶/۷ و ۸۵/۹ درصد را نشان دادند و سنجنده AVHRR کمترین دقت را نشان داد. پهلوان و همکاران (۲۷) با استفاده از داده‌های ابر طیفی هایپریون سه رقم متفاوت از هرکدام از گونه‌های برنج، نیشکر، فلفل و پنبه طبقه‌بندی شد. در این مطالعه دقت نهایی طبقه‌بندی با استفاده از داده‌های سنجنده هایپریون ۸۸/۸ درصد به دست آمد.

ایران به همراه کشورهای حوزه دریای مدیترانه به‌عنوان یکی از زیستگاه‌های اصلی پسته (*Pistacia vera* L.) در دنیا شناخته‌شده است (۶). این گیاه نقش مهمی در اقتصاد کشورهای خشک و نیمه‌خشک همچون ایران، ترکیه و سوریه دارد (۲۵). طوری که ایران همواره به‌عنوان بزرگ‌ترین صادرکننده محصول پسته در جهان مطرح است (۱۷). پسته دارای ارقام بسیار متعددی (بیش از ۷۰ رقم) است که همراه تعیین سطح زیر کشت هرکدام از ارقام و تهیه نقشه‌های ارزان قابل‌اعتماد این گیاه با ارزش از اهمیت خاصی برخوردار است و می‌تواند در برنامه‌های مدیریتی دارای نقش مهمی باشد.

هدف از پژوهش حاضر ارزیابی قابلیت طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی لندست ۸ و سنتینل ۲A در تعیین محدوده و سطح زیر کشت ارقام پسته در سطح یک مزرعه مطالعاتی است. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در سطوح کوچک در تهیه نقشه‌های ارقام مختلف پسته و سیاست‌های مدیریتی در سطوح کوچک نظیر مزرعه یا یک منطقه مفید باشد و همچنین در سطوح کلان نظیر استان یا کشور نیز می‌تواند با واسطه تخمین سطح زیر کشت پسته و

درصد و ۰/۷ با استفاده از روش درخت تصمیم‌گیری به دست آمد. احمدپور و همکاران (۱) نیز میزان کارایی سه روش رایج طبقه‌بندی نظارت‌شده ماهواره‌ای در تشخیص گروه‌های گیاهی منطقه حفاظت‌شده گلول و سرانی استان خراسان شمالی موردبررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه کارایی بهتر الگوریتم حداکثر تشابه در طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای ETM⁺ و LISS III نسبت به الگوریتم متوازی سطوح و کمترین فاصله از میانگین را نشان داد.

سنجنده‌های چند طیفی اطلاعات را در تعداد کمتر از ۲۰ باند طیفی در محدوده‌های مرئی، مادون‌قرمز نزدیک، مادون‌قرمز طول‌موج کوتاه و مادون‌قرمز حرارتی که اغلب هم به‌طور پیوسته نیست، ثبت می‌کنند. بنابراین این سنجنده‌ها قادر به تفکیک و تشخیص خیلی دقیق مواد مشابه از لحاظ طیفی نیستند. یک ماده ممکن است خواص طیفی متمایز را در محدوده‌های خاص و باریکی از طول‌موج به‌طور مجزا نشان دهد و آن را از مواد دیگر تنها در تصاویر ثبت‌شده در آن دامنه طول‌موج قابل‌تشخیص کند. بنابراین یک اسکنر چند طیفی ممکن است این محدوده طیفی را پوشش ندهد (۳۱). در مقابل سنجنده‌های ابر طیفی قادر به ثبت اطلاعات بازتابی در تعداد بسیار زیاد باندهای باریک و پیوسته در محدوده‌های مرئی، مادون‌قرمز نزدیک و مادون طول‌موج کوتاه طیف الکترومغناطیس هستند (۳۰). بنابراین به‌طورکلی سنجنده‌های ابر طیفی قادر به تفکیک دقیق‌تر پدیده‌ها در الگوریتم‌های طبقه‌بندی هستند و در زمینه تفکیک ارقام یک‌گونه در مطالعات از آن‌ها استفاده‌شده است. باین‌حال این سنجنده‌ها مانند سنجنده ابر طیفی هایپریون (Hyperion) اغلب دارای پوشش جهانی نیستند و دسترسی به داده‌های آن‌ها و یا تهیه داده‌های ابر طیفی عموماً نسبت به داده‌های سنجنده‌های چند طیفی هزینه‌بر است. در پژوهشی با استفاده از تصاویر ابر طیفی سنجنده هایپریون پنج رقم مختلف برنج در میان ۱۶ کلاس پوشش زمین با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده نقشه‌بردار زاویه طیفی (Spectral Angle Mapper) با دقت نهایی ۸۶/۹۶ درصد تفکیک و طبقه‌بندی شد (۳۲). برونیگ و

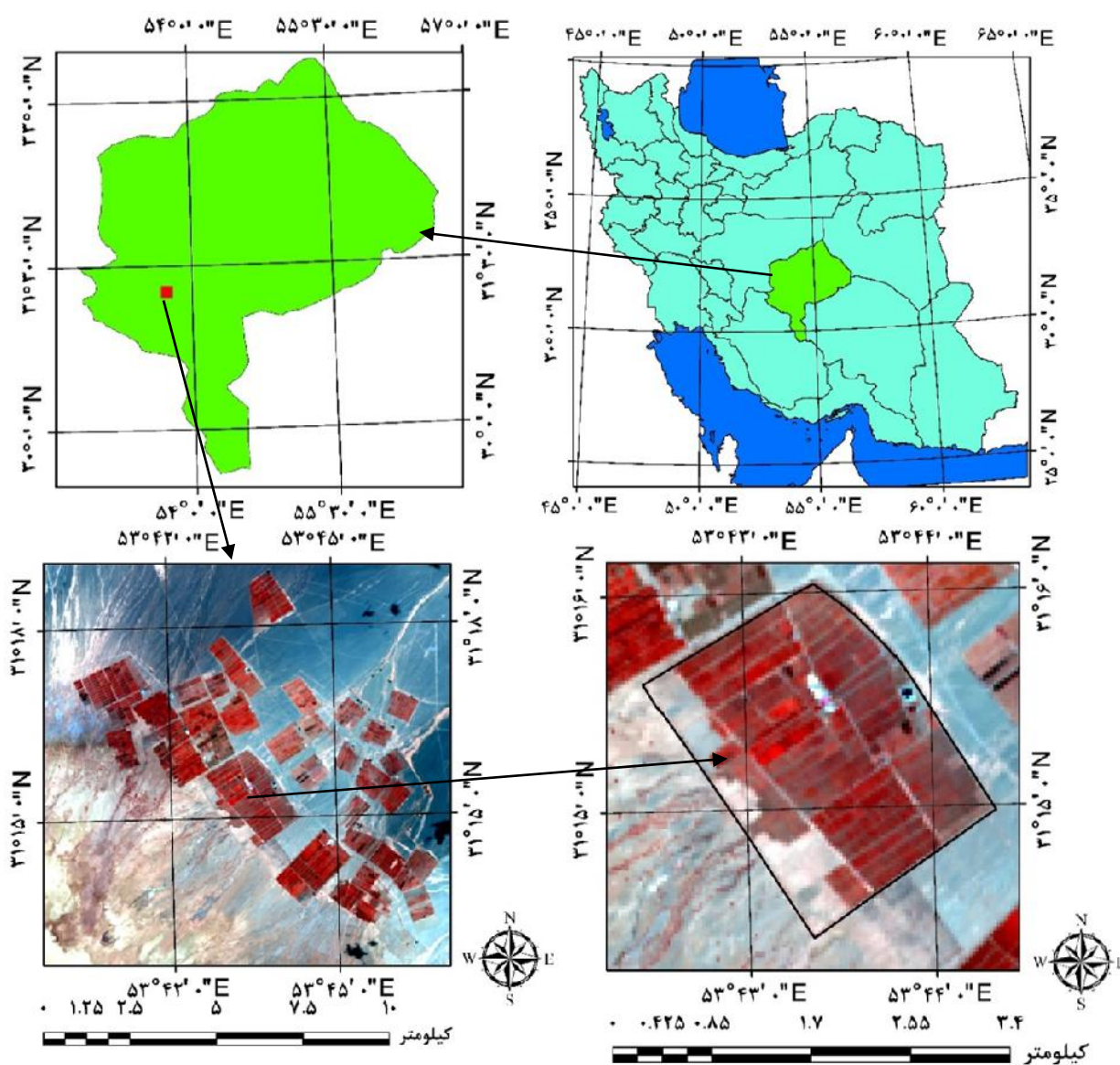
عرض جغرافیایی $31^{\circ}15'15''$ و طول جغرافیایی $53^{\circ}43'23''$ قرار گرفته است. وسعت کل مزرعه مورد مطالعه $477/5$ هکتار است. ۴ رقم پسته شامل ارقام کله قوچی، احمدآقایی، فندوقی و اکبری در مزرعه مورد تحقیق وجود دارند. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در سطح ایران و استان یزد، به همراه یک تصویر رنگی کاذب نشان می‌دهد.

حتی ارقام مختلف پسته در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌های مدیریتی کاربرد داشته باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مزرعه مطالعاتی در پژوهش حاضر در استان یزد و در ۲۰ کیلومتری جنوب دهستان دهشیر واقع شده است. این مزرعه در



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در سطح ایران و استان یزد

داده‌های ماهواره‌ای

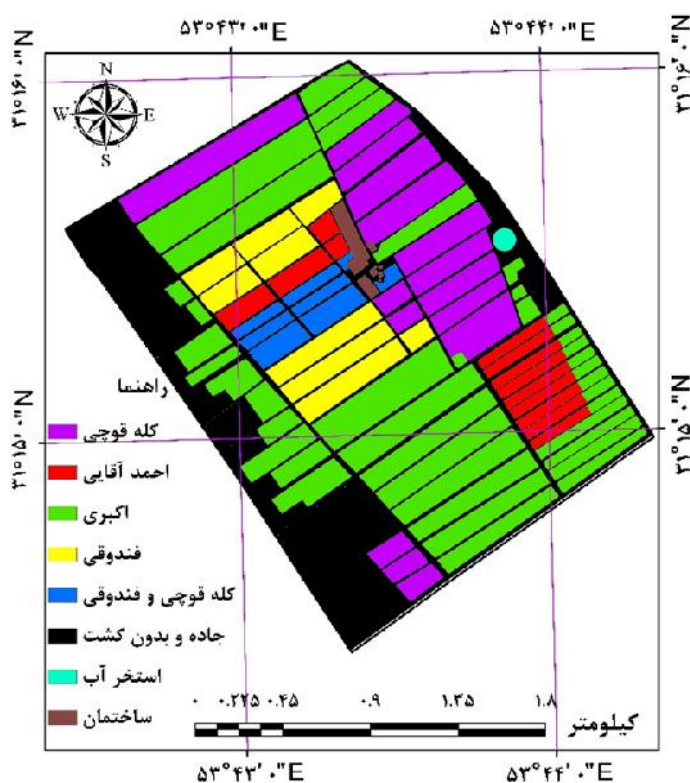
در پژوهش حاضر از داده‌های ماهواره لندست ۸ و سنتینل ۲A به منظور طبقه‌بندی ارقام مختلف پسته استفاده شد. لندست ۸ دو سنجنده به نام‌های OLI (Operational Land Imager) و TIRS (Thermal Infrared Sensor) را حمل می‌کند. سنجنده OLI با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر دارای ۸ باند در محدوده-های طیفی مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز طول موج کوتاه و یک باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر است. سنجنده TIRS به کمک دو باند در پنجره‌های جوی ۱۰/۶ تا ۱۱/۲ میکرومتر برای باند ۱۰ و ۱۱/۵ تا ۱۲/۵ میکرومتر برای باند ۱۱ قادر به ثبت تابش‌های مادون قرمز حرارتی با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر است (۱۸ و ۳۵). در پژوهش حاضر از باندهای ۱ تا ۷ ماهواره لندست ۸ پس از انجام تصحیحات هندسی، اتمسفری و رادیومتری استفاده شد. به دلیل تشابه طیفی بین ارقام مختلف پسته نمی‌توان از تصویر یک تاریخ برای تفکیک ارقام مختلف پسته استفاده کرد. بنابراین برای تعیین بهترین زمان برای تفکیک ارقام پسته تصاویر چهار تاریخ ۲۲ خرداد، ۲۳ تیر، ۲۴ مرداد و ۲۵ شهریور سال ۱۳۹۷ مورد استفاده قرار گرفت.

سنتینل ۲ از جدیدترین ماهواره‌های تصویربرداری چند طیفی به شمار می‌رود. بر روی این ماهواره سنجنده MSI (Spectral Instrument Multi) قرار گرفته است که اطلاعات را در ۱۳ باند طیفی در محدوده‌های مرئی، مادون قرمز نزدیک و

مادون قرمز طول موج کوتاه با قدرت تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر و قدرت تفکیک زمانی ۵ روز برداشت می‌کند (۲۶). تصحیحات اتمسفری بر روی تصاویر سنتینل ۲A در محیط نرم‌افزار SNAP انجام شد. به جز باندهای شماره ۱، ۹ و ۱۰ از سایر باندهای سنجنده سنتینل ۲A به منظور طبقه بندی پسته استفاده شد و اندازه پیکسل‌های ۲۰ متری به ۱۰ متری تقلیل یافت. در پژوهش حاضر در ابتدا بهترین زمان و الگوریتم برای طبقه‌بندی ارقام پسته با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ مشخص شد و در مرحله بعد با توجه به بهترین زمان و الگوریتم طبقه‌بندی، ارقام پسته با استفاده از تصویر ماهواره سنتینل ۲A طبقه‌بندی شدند.

نقشه واقعیت زمینی

برای تعیین دقت و صحت نتایج طبقه‌بندی به نقشه واقعیت زمینی نیاز است. در پژوهش حاضر در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث نقشه قطعات مختلف کشت درختان پسته تهیه شده و سپس با توجه به اینکه در هر کدام از قطعات کشت تنها یک یا دو رقم پسته حضور داشت با استفاده از نمونه‌برداری میدانی و GPS نوع رقم پسته در هر کدام هر از قطعات کشت تعیین شد و در نهایت نقشه واقعیت زمینی ارقام پسته در مزرعه مورد مطالعه تهیه شد. شکل ۲ نقشه قطعات کشت و نوع رقم پسته در هر کدام از قطعات را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نقشه قطعات کشت و نوع رقم پسته در هر کدام از قطعات

روش های طبقه بندی تصاویر

در پژوهش حاضر به منظور تفکیک ارقام مختلف پسته از طبقه بندی نظارت شده با استفاده از چهار روش متوازی السطوح، کمترین فاصله، فاصله ماهالانوبیس (Distance Mahalanobis) و حداکثر تشابه استفاده شد. در ادامه به طور مختصر الگوریتم های طبقه بندی مورد استفاده معرفی می شوند.

روش متوازی السطوح

در این روش ابتدا با توجه به دامنه طیفی طبقات نمونه که بر روی تصویر انتخاب شده است و اریانس ارزش های طیفی محاسبه می شود و سپس با استفاده از حداقل و حداکثر ارزش طیفی طبقات نمونه در باندهای مختلف چهارضلعی هایی ایجاد می گردد که به آنها اصطلاحاً شبکه های موازی گفته می شود. پس از ایجاد شبکه های موازی پیکسل های تصویر بسته به اینکه در کدام یک از چهارضلعی ها قرار گیرند طبقه بندی و به گروه های منطبق با مناطق نمونه تفکیک می شوند (۱).

روش کمترین فاصله

در این روش پیکسل مجهول به کلاسی واگذار می شود که بردار میانگین آن به کلاس مورد نظر نزدیک ترین فاصله اقلیدسی را داشته باشد (۲).

روش فاصله ماهالانوبیس

فاصله ماهالانوبیس طبقه بندی دیگری نظیر روش کمترین فاصله است. در این روش، اساس بازهم شبیه روش کمترین فاصله است اما نه کمترین فاصله اقلیدسی بلکه از کمترین فاصله ماهالانوبیس استفاده می کند (۲).

روش حداکثر تشابه

در این روش که از سایر روش های موجود برای طبقه بندی دقیق تر است میزان کمی و اریانس و همبستگی ارزش های طیفی باندهای مختلف برای مناطق نمونه محاسبه می شود و از همین خاصیت برای ارتباط یک پیکسل طبقه بندی نشده به یکی از

نقاط ۱۰۰ پیکسل تصویر را شامل می‌شود (در هر نقطه چهار پیکسل انتخاب شد). با توجه به سطح مزرعه تنها یک درصد مساحت آن به نام نمونه تعلیمی انتخاب شده است. پس از ایجاد نمونه‌های تعلیمی در ابتدا بر روی تصویر تاریخ ۲۲ خرداد ۱۳۹۷ ماهواره لندست ۸ بهترین الگوریتم طبقه‌بندی از میان چهار روش متوازی‌السطوح، کمترین فاصله، فاصله ماهالانویس و حداکثر تشابه انتخاب شد. سپس با توجه به بهترین الگوریتم طبقه‌بندی به دست آمده در مرحله اول، بهترین زمان برای تفکیک ارقام پسته با استفاده از تصاویر تاریخ‌های ۲۳ تیر، ۲۴ مرداد، ۲۵ شهریور علاوه بر تاریخ ۲۲ خرداد سال ۱۳۹۷ که در مرحله اول مشخص شده بود، به دست آمد. در مرحله بعد همان‌طور که گفته شد، با توجه به بهترین زمان و الگوریتم طبقه‌بندی، ارقام پسته با استفاده از تصویر ماهواره سنتینل ۲A طبقه‌بندی شدند. پس از طبقه‌بندی ارقام پسته، با توجه به اینکه الگوی کشت در قطعات کشت منظم است به منظور حذف بافت فلغل نمکی ایجاد شده، از فیلتر میانه ۳ در ۳ برای بهبود کیفیت نقشه‌های تهیه شده استفاده شد.

گروه‌ها یا نمونه‌های طیفی نیز استفاده می‌شود. به بیان دیگر برای بررسی نحوه توزیع ارزش‌های طیفی و احتمال آماری ارتباط یک پیکسل با یکی از گروه‌های نمونه از ماتریکس واریانس و بردار میانگین که خود واریانس و همبستگی ارزش‌های طیفی را تعریف می‌کنند، استفاده می‌شود. با استفاده از عامل شدت احتمال، هر یک از پیکسل‌های تصویر پس از آزمون آماری و محاسبه احتمال تعلق آن‌ها به گروه‌های طیفی نمونه، به گروه مربوطه تعلق می‌گیرد (۱).

جدول ۱ مشخصات نمونه‌های تعلیمی مورد استفاده برای تفکیک ارقام مختلف پسته را نشان می‌دهد. نمونه‌های تعلیمی با توجه به نقشه واقعیت زمینی (شکل ۲) و با مدنظر قرار دادن میزان پراکنش مکانی مناسب در سطح مزرعه در نظر گرفته شدند. در مجموع با استفاده از ۱۱۴ نمونه تعلیمی با مساحت کل ۴/۸ هکتار اقدام به طبقه‌بندی نظارت شده با روش‌های مختلف نام‌برده شد. به‌عنوان مثال در نمونه‌های تعلیمی برای رقم کله قوچی از ۲۴ نقطه یا ناحیه با پراکنش مناسب در قطعات کشت رقم کله قوچی استفاده شد که در مجموع کل این

جدول ۱. مشخصات نمونه‌های تعلیمی به منظور تفکیک ارقام مختلف پسته

نام نمونه تعلیمی	تعداد پیکسل با اندازه ۱۰ × ۱۰ متر	تعداد ناحیه	میزان مساحت (هکتار)
کله قوچی	۱۰۰	۲۴	۱
اکبری	۲۰۰	۵۰	۲
فندقی	۴۷	۱۲	۰/۴۷
احمد آقایی	۳۶	۹	۰/۳۶
کله قوچی و فندقی	۲۸	۷	۰/۲۸
بدون پوشش و جاده	۷۵	۱۲	۰/۷۵
جمع	۴۸۶	۱۱۴	۴/۸۶

اعتبار سنجی و ارزیابی صحت

برای ارزیابی دقت و صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده به روش‌های مختلف، از ماتریس خطا استفاده شد. پارامترهای دقت کلی (Overall Accuracy)، ضریب کاپا (Kappa coefficient)، دقت تولیدکننده (Producer Accuracy)، دقت کاربر (User Accuracy)، خطای اضافه (Commission) و

خطای حذف (Omission) به منظور ارزیابی نتایج مورد استفاده قرار گرفت. دقت کلی از نسبت تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده به کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده در تمامی طبقات به دست می‌آید. دقت کلی با توجه به رابطه ۱ قابل محاسبه است.

از پیکسل‌ها که در واقعیت متعلق به کلاس مورد نظر هستند ولی به اشتباه در کلاس دیگر قرار گرفته‌اند (۲۲).

نتایج

بهترین الگوریتم برای تفکیک ارقام پسته

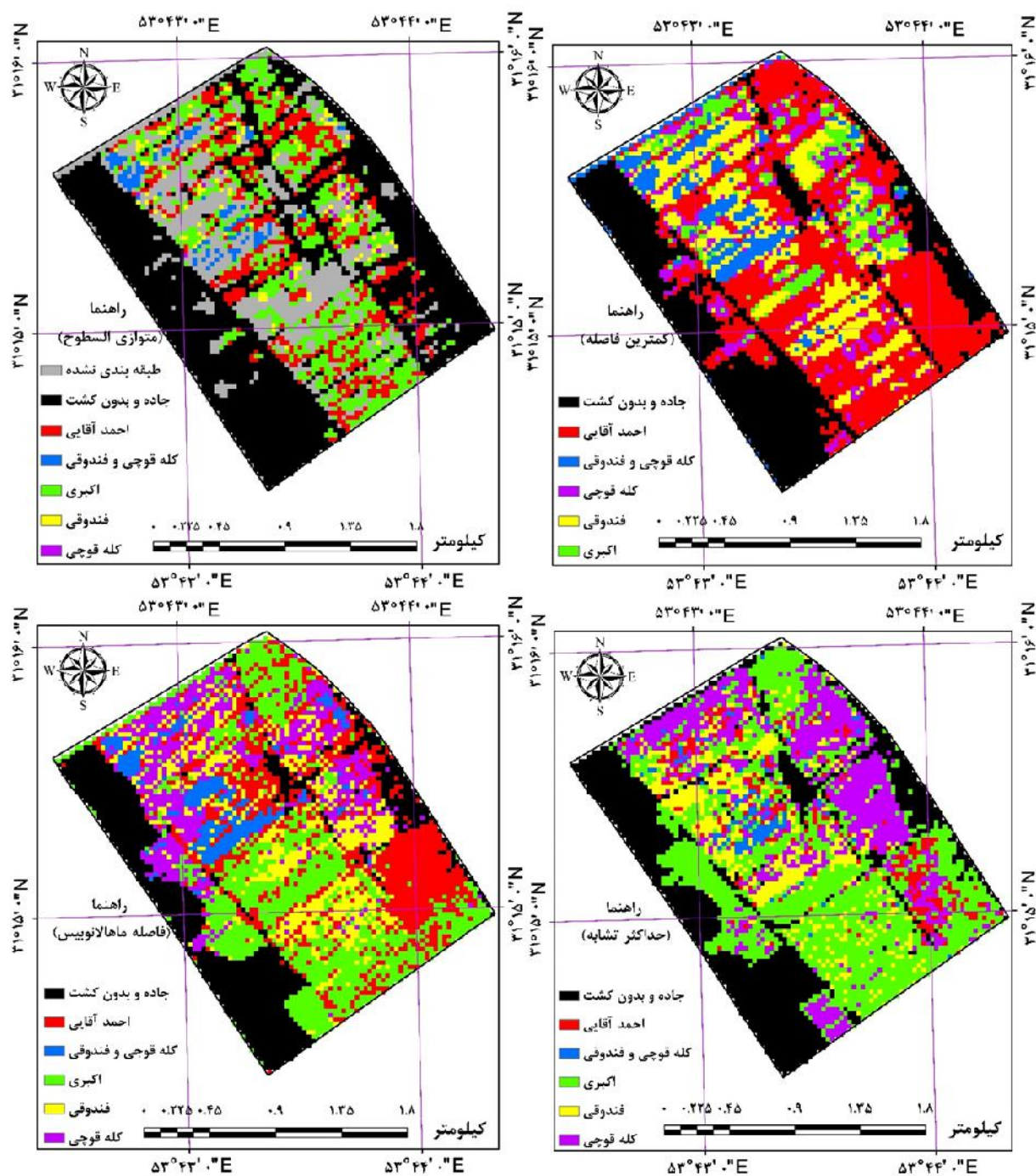
نتایج طبقه‌بندی نظارت‌شده ارقام مختلف پسته با استفاده از چهار روش متوازی‌السطوح، کمترین فاصله، فاصله ماهالانویس و حداکثر تشابه در تصویر تاریخ ۲۲ خرداد ۱۳۹۷ ماهواره لندست ۸ در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۳ و همچنین نقشه واقعیت زمینی (شکل ۲) روش حداکثر تشابه نسبت به سایر روش‌ها دارای عملکرد مطلوب‌تری است. جدول ۲ ماتریس خطای روش‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت‌شده ارقام پسته در تصویر تاریخ ۲۲ خرداد ۱۳۹۷ ماهواره لندست ۸ را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲ روش متوازی‌السطوح با ضریب کاپای ۰/۴۶ و دقت کلی ۶۴/۷ درصد دارای کمترین دقت و روش حداکثر تشابه با ضریب کاپای ۰/۶۷ و دقت کلی ۷۶/۸ درصد از بالاترین دقت برای تفکیک ارقام مختلف پسته در مزرعه مورد مطالعه برخوردار بود. در روش حداکثر تشابه نیز ارقام پسته کله قوچی و اکبری نسبت به سایر ارقام از دقت تولید و دقت کاربر بالاتری برخوردار بودند.

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad [1]$$

در این رابطه؛ OA دقت کل، $\sum P_{ii}$ جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا و N تعداد کل پیکسل‌های آموزشی است. به دلیل ایرادات وارده بر دقت کلی در کارهای اجرایی، از ضریب کاپا هم به منظور تعیین دقت طبقه‌بندی استفاده می‌شود. زیرا در این شاخص پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده نیز در نظر گرفته می‌شود. ضریب کاپا با توجه به رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$Kappa = \frac{p_o - p_c}{1 - p_c} \quad [2]$$

در این رابطه، p_o درستی مشاهده و p_c توافق مورد انتظار است. دقت تولیدکننده احتمال اینکه تولیدکننده پیکسلی را به کلاس خاص نسبت داده باشد در صورتی که کلاس واقعی آن مشخص باشد را بیان می‌کند و در ماتریس خطا نسبت پیکسل‌های صحیح به مجموع پیکسل‌های یک ستون است. دقت کاربر احتمال طبقه‌بندی یک کلاس خاص در نقشه مطابق با همان کلاس در زمین است و در ماتریس خطا نسبت پیکسل‌های صحیح به مجموع پیکسل‌های یک سطر است. خطای اضافه درصدی از پیکسل‌ها که متعلق به کلاس مورد نظر نیستند ولی در آن کلاس قرار گرفته‌اند و خطای حذف درصدی



شکل ۳. نتایج طبقه بندی نظارت شده ارقام مختلف پسته با استفاده از چهار روش متوازی السطوح، کمترین فاصله، فاصله مالاهاونویس و

حداکثر تشابه در تصویر تاریخ ۲۲ خرداد ۱۳۹۷ ماهواره لندست ۸

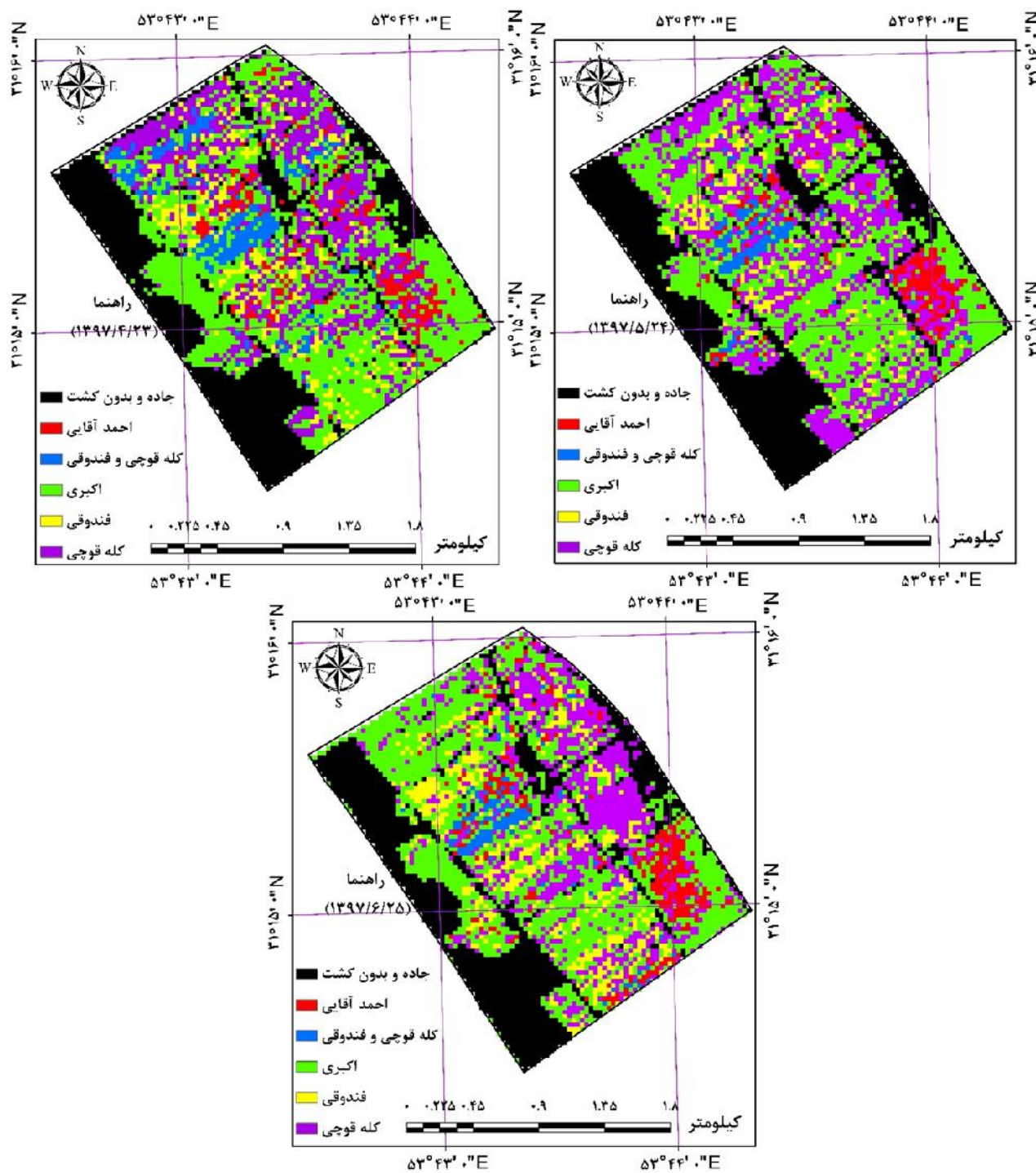
جدول ۲. ماتریس خطای روش‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت‌شده ارقام پسته در تصویر تاریخ ۲۲ خرداد ۱۳۹۷ ماهواره لندست ۸

الگوریتم	نام رقم	دقت تولید (درصد)	دقت کاربر (درصد)	خطای اضافه (درصد)	خطای حذف (درصد)	دقت نهایی (درصد)	ضریب کاپا
متوازی‌السطوح	احمد آقایی	۱۵/۲۶	۶/۸۹	۹۳/۱۱	۸۴/۷۴		
	کله قوچی	۱/۱۵	۶۲/۵	۳۷/۵	۹۸/۸۵		
	اکبری	۲۳/۹۲	۴۵/۳۹	۵۴/۶۱	۷۶/۰۸	۶۴/۷	۰/۴۷
	فندقی	۳/۸۸	۱۴/۷۸	۸۵/۲۲	۹۶/۱۲		
	کله قوچی و فندقی	۱۸/۳۹	۲۸/۳۲	۷۱/۶۸	۸۱/۶۱		
مسیر و بدون پوشش	۷۲/۱۸	۴۹/۳۷	۵۰/۶۳	۲۷/۸۲			
کمترین فاصله	احمد آقایی	۶۷/۸۶	۱۱/۲۷	۸۸/۷۳	۳۲/۱۴		
	کله قوچی	۲۰/۹۹	۵۴/۱۷	۴۵/۸۳	۷۹/۰۱		
	اکبری	۹/۹۹	۴۰/۷۶	۵۹/۲۴	۹۰/۰۱	۶۵/۰	۰/۵۲
	فندقی	۲۱/۹۲	۱۱/۹۱	۸۸/۰۹	۷۸/۰۸		
	کله قوچی و فندقی	۴۱/۹۵	۲۰/۲۲	۷۹/۷۸	۵۸/۰۵		
مسیر و بدون پوشش	۶۲/۵۲	۷۰/۴۱	۲۹/۵۹	۳۷/۴۸			
فاصله ماهالانویس	احمد آقایی	۶۸/۵۱	۱۸/۶۹	۸۱/۳۱	۳۱/۴۹		
	کله قوچی	۳۱/۹۵	۳۵/۸۵	۶۱/۱۵	۶۸/۰۵		
	اکبری	۳۹/۶	۵۵/۶۸	۴۴/۳۲	۶۹/۴	۷۰/۵	۰/۵۸
	فندقی	۲۳/۹۷	۱۴/۲۵	۸۵/۷۵	۷۶/۰۳		
	کله قوچی و فندقی	۴۴/۲۲	۲۸/۵۲	۷۱/۴۸	۵۵/۷۵		
مسیر و بدون پوشش	۵۶/۴۳	۸۳/۴۴	۱۶/۵۶	۴۳/۵۷			
حداکثر تشابه	احمد آقایی	۲۵	۲۶/۲۸	۷۳/۷۲	۷۵		
	کله قوچی	۵۹/۹۸	۵۰/۲۹	۴۹/۷۱	۴۰/۰۲		
	اکبری	۶۱/۱۱	۶۰/۲۹	۳۹/۷۱	۳۸/۸۹	۷۶/۸	۰/۶۷
	فندقی	۳۸/۸۱	۲۸/۴۸	۷۱/۵۲	۶۱/۱۹		
	کله قوچی و فندقی	۲۵/۸۶	۴۰/۱۸	۵۹/۸۲	۷۴/۱۴		
مسیر و بدون پوشش	۶۳/۲	۷۵/۶۳	۲۴/۳۷	۳۶/۸۰			

بهترین زمان برای تفکیک ارقام پسته

نتایج طبقه‌بندی تصویر تاریخ ۲۲ خرداد ۱۳۹۷ نشان داد، روش طبقه‌بندی حداکثر تشابه نسبت به سایر روش‌ها از دقت بالاتری برخوردار بود. در این مرحله تصاویر تاریخ‌های ۲۳ تیر، ۲۴ مرداد و ۲۵ شهریور سال ۱۳۹۷ ماهواره لندست ۸ نیز با روش حداکثر تشابه طبقه‌بندی شدند تا بهترین زمان برای تفکیک و طبقه‌بندی ارقام پسته به دست آید. شکل ۴ نتایج طبقه‌بندی نظارت‌شده ارقام مختلف پسته با استفاده از روش حداکثر تشابه و همچنین ماتریس خطا طبقه‌بندی نظارت‌شده

(جدول ۳) هرکدام از تصاویر را نشان می‌دهند. با توجه به شکل ۴ و جدول ۳ دقت و صحت طبقه‌بندی در تاریخ‌های ۲۳ تیر، ۲۴ مرداد و ۲۵ شهریور نسبت به تاریخ ۲۲ خرداد سال ۱۳۹۷ کاهش یافته است. به طوری که با توجه به جدول ۲ ضریب کاپای طبقه‌بندی با روش حداکثر تشابه در تاریخ ۲۲ خرداد، ۰/۶۷ به دست آمد و در صورتی که با توجه به جدول ۳ در تاریخ‌های ۲۳ تیر، ۲۴ مرداد و ۲۵ شهریور میزان ضریب کاپای طبقه‌بندی با روش حداکثر تشابه به ترتیب ۰/۶۴، ۰/۶۳ و ۰/۶۳ به دست آمد.



شکل ۴. نتایج طبقه‌بندی نظارت شده ارقام مختلف پسته با استفاده از روش حداکثر تشابه در تصاویر تاریخ‌های ۲۳ تیر، ۲۴ مرداد و ۲۵

شهریور سال ۱۳۹۷ ماهواره لندست ۸

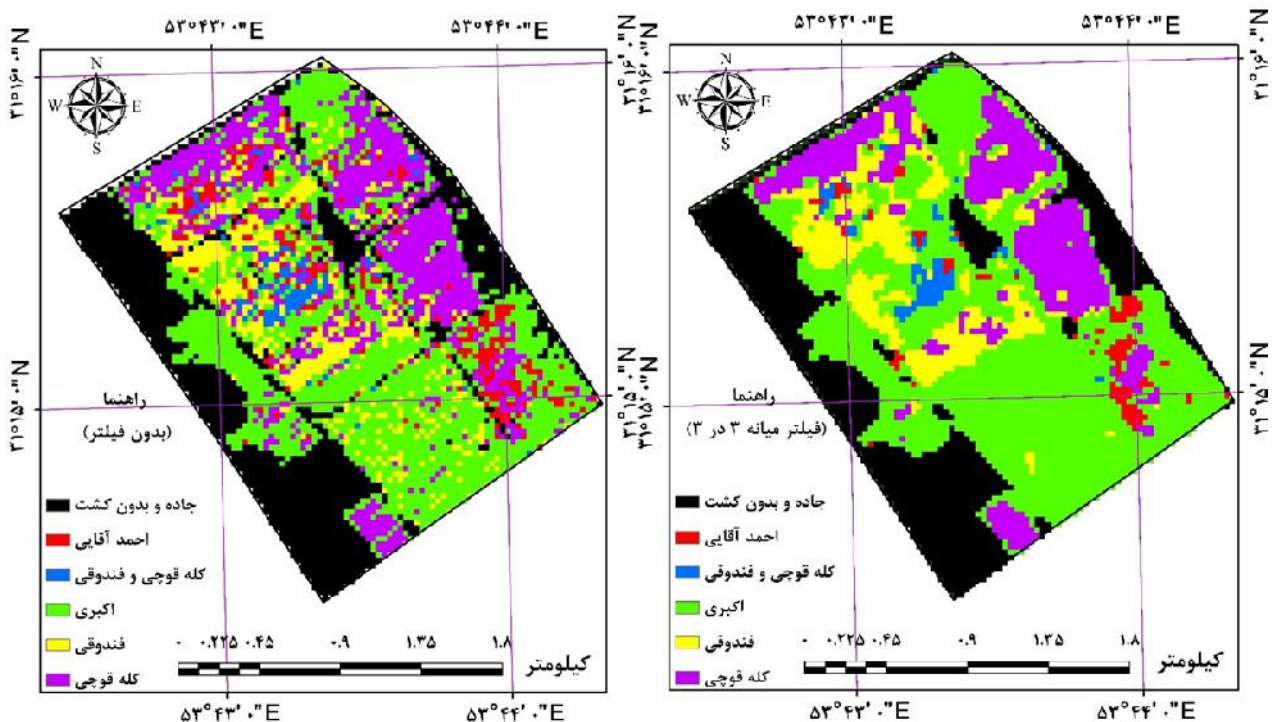
جدول ۳. ماتریس خطای طبقه‌بندی نظارت‌شده ارقام پسته با استفاده از روش حداکثر تشابه در تصاویر تاریخ‌های ۲۲ خرداد، ۲۳ تیر،

۲۴ مرداد و ۲۵ شهریور سال ۱۳۹۷ ماهواره لندست ۸

تاریخ تصویر	نام رقم	دقت تولید (درصد)	دقت کاربر (درصد)	خطای اضافه (درصد)	خطای حذف (درصد)	دقت نهایی (درصد)	ضریب کاپا
۱۳۹۷/۴/۲۳	احمد آقایی	۳۳/۴۴	۳۶/۹۲	۶۳/۰۸	۶۶/۵۶	۷۴/۷	۰/۶۴
	کله قوچی	۴۶/۳۷	۳۶/۶۱	۶۳/۳۹	۵۳/۶۳		
	اکبری	۵۵/۹۳	۵۴/۷	۴۵/۳	۴۴/۰۷		
	فندقی	۲۶/۹۴	۳۰/۷۳	۶۹/۲۷	۷۳/۰۶		
	کله قوچی و فندقی	۴۹/۴۳	۲۸/۶۷	۷۱/۳۳	۵۰/۵۷		
	مسیر و بدون پوشش	۶۱/۸۵	۷۶/۳۱	۲۳/۶۹	۳۸/۱۵		
۱۳۹۷/۵/۲۴	احمد آقایی	۳۶/۰۴	۴۸/۶۸	۵۱/۳۲	۶۳/۹۶	۷۴/۶	۰/۶۳
	کله قوچی	۴۷/۸۷	۲۹/۶۲	۷۰/۳۸	۵۲/۱۳		
	اکبری	۵۵/۴۹	۵۶/۷۹	۴۳/۲۱	۴۴/۵۱		
	فندقی	۲۰/۷۸	۳۱/۳۸	۶۸/۶۲	۷۹/۲۲		
	کله قوچی و فندقی	۳۵/۰۶	۴۱/۵	۵۸/۵	۶۴/۹۴		
	مسیر و بدون پوشش	۶۳/۵۷	۷۴/۰۵	۲۵/۹۵	۳۶/۴۳		
۱۳۹۷/۶/۲۵	احمد آقایی	۳۸/۳۱	۳۸/۶۹	۶۱/۳۱	۶۱/۶۹	۷۴/۳	۰/۶۳
	کله قوچی	۴۴/۷۵	۳۵/۴۱	۶۴/۸۶	۵۵/۲۵		
	اکبری	۵۳/۸۵	۵۲/۸۷	۴۷/۱۳	۴۶/۱۵		
	فندقی	۳۰/۱۴	۲۵/۲۴	۷۴/۷۶	۶۹/۸۶		
	کله قوچی و فندقی	۳۵/۶۳	۴۷/۶۹	۵۲/۳۱	۶۴/۳۷		
	مسیر و بدون پوشش	۶۲/۲۸	۷۶/۴۹	۲۳/۵۱	۳۷/۷۲		

صحیح مرتبط نمود. شکل ۵ نتایج نهایی طبقه‌بندی نظارت‌شده ارقام مختلف پسته با استفاده از روش حداکثر تشابه در تصویر تاریخ‌های ۲۲ خرداد سال ۱۳۹۷ ماهواره لندست ۸ بدون فیلتر و با فیلتر میانه 3×3 را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴ با استفاده از فیلتر میانه 3×3 ضریب کاپا و دقت نهایی به ترتیب $0/71$ و $79/6$ درصد به دست آمد که نسبت به شرایط بدون فیلتر ضریب کاپا و دقت نهایی به ترتیب $0/04$ و $2/8$ درصد افزایش یافت.

با توجه به نتایج بهترین دقت و زمان طبقه‌بندی ارقام پسته با استفاده از تصاویر لندست ۸ از طریق الگوریتم حداکثر تشابه و در تاریخ ۲۲ خرداد سال ۱۳۹۷ به دست آمد. اما با توجه به وجود پیکسل‌های مخلوط شده طیفی و خطاهای ناشی از آن‌ها در نتایج حاصله تعدادی از پیکسل‌ها به‌درستی انتخاب نشده‌اند. به‌منظور ارتقای کیفیت نقشه طبقه‌بندی‌شده، از فیلتر میانه با پنجره 3×3 استفاده شد. زیرا با توجه به الگوی کشت منظم در مزرعه، پیکسل‌هایی که مابین سایر پیکسل‌ها به‌اشتباه طبقه‌بندی‌شده‌اند را می‌توان حذف نمود و به کلاس



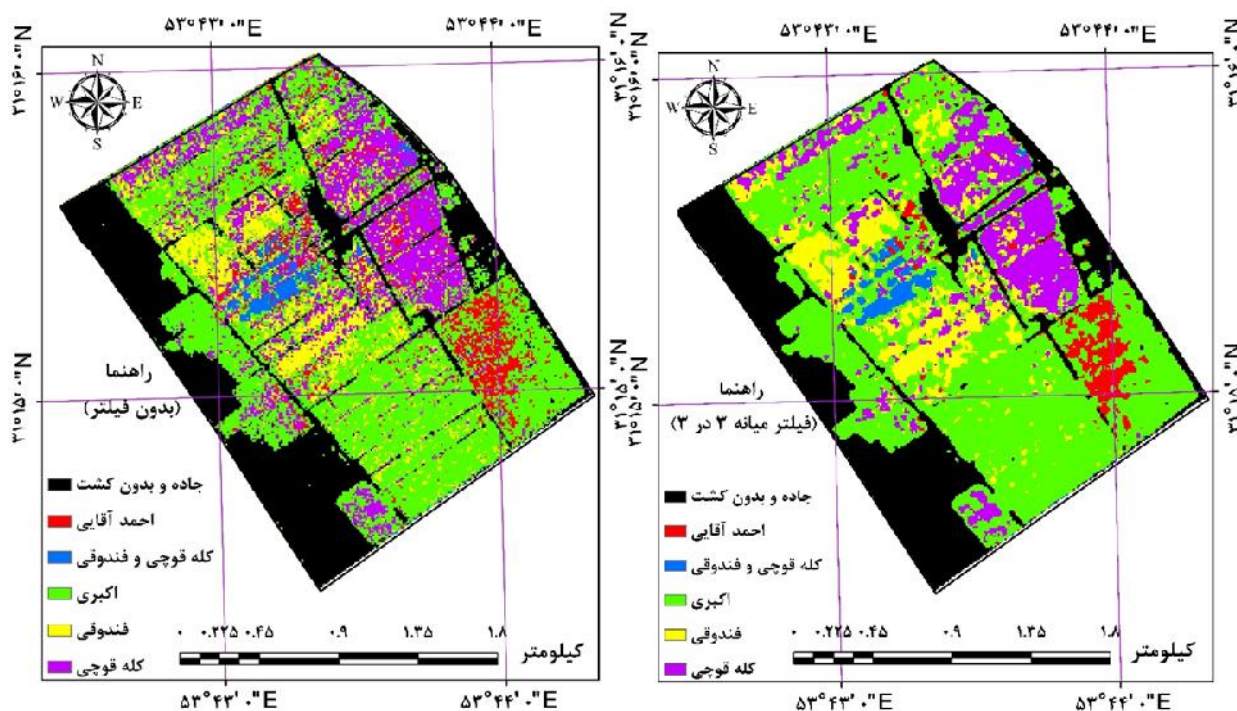
شکل ۵. نتایج طبقه بندی نظارت شده ارقام مختلف پسته با استفاده از روش حداکثر تشابه در تصویر تاریخ های ۲۲ خرداد سال ۱۳۹۷ ماهواره لندست ۸ بدون فیلتر و با فیلتر میانه ۳ در ۳

جدول ۴. ماتریس خطای طبقه بندی نظارت شده ارقام مختلف پسته با استفاده از روش حداکثر تشابه در تصویر تاریخ های ۲۲ خرداد سال ۱۳۹۷ ماهواره لندست ۸ با فیلتر میانه ۳ × ۳

فیلتر	نام رقم	دقت تولید (درصد)	دقت کاربر (درصد)	خطای اضافه (درصد)	خطای حذف (درصد)	دقت نهایی (درصد)	ضریب کاپا
فیلتر میانه ۳ × ۳	احمد آقایی	۱۹/۱۶	۴۶/۴۶	۵۳/۵۴	۸۰/۸۴	۷۹/۶	۰/۷۱
	کله قوچی	۶۱/۹۴	۶۶/۷۹	۳۳/۲۱	۳۸/۰۶		
	اکبری	۷۴/۲۲	۵۷/۴۱	۴۲/۵۹	۲۵/۷۸		
	فندق	۵۰/۴۶	۳۶/۳۵	۶۳/۶۵	۴۹/۵۴		
	کله قوچی و فندق	۲۸/۱۶	۵۱/۰۴	۴۸/۹۶	۷۱/۸۴		
	مسیر و بدون پوشش	۶۲/۲۲	۸۱/۰۱	۱۸/۹۹	۳۷/۷۸		

ماهواره سنتینل ۲A بدون فیلتر و با فیلتر میانه ۳×۳ را نشان می دهد. با توجه به ماتریس خطا، ضریب کاپا و دقت نهایی تصویر طبقه بندی شده بدون فیلتر به ترتیب ۰/۷۱ و ۸۰ درصد به دست آمد (جدول ۵). با استفاده از فیلتر میانه ۳×۳ ضریب کاپا و دقت نهایی به ترتیب به میزان ۰/۷۵ و ۸۲/۶ درصد افزایش یافت.

بهترین دقت طبقه بندی ارقام پسته با استفاده از تصاویر لندست ۸ از طریق الگوریتم حداکثر تشابه و در تاریخ ۲۲ خرداد سال ۱۳۹۷ به دست آمد. بنابراین به منظور طبقه بندی ارقام پسته با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۲A از تصویر تاریخ ۲۴ خرداد و الگوریتم حداکثر تشابه استفاده شد. شکل ۶ نتایج طبقه بندی نظارت شده ارقام مختلف پسته با استفاده از روش حداکثر تشابه در تصویر تاریخ ۲۴ خرداد سال ۱۳۹۷



شکل ۶. نتایج طبقه‌بندی نظارت شده ارقام مختلف پسته با استفاده از روش حداکثر تشابه در تصویر تاریخ‌های ۲۴ خرداد سال ۱۳۹۷ ماهواره سنتینل ۲A بدون فیلتر و با فیلتر میانه ۳×۳

جدول ۵. ماتریس خطای طبقه‌بندی نظارت شده ارقام مختلف پسته با استفاده از روش حداکثر تشابه در تصویر تاریخ‌های ۲۴ خرداد سال ۱۳۹۷ ماهواره سنتینل ۲A بدون فیلتر و با فیلتر میانه ۳×۳

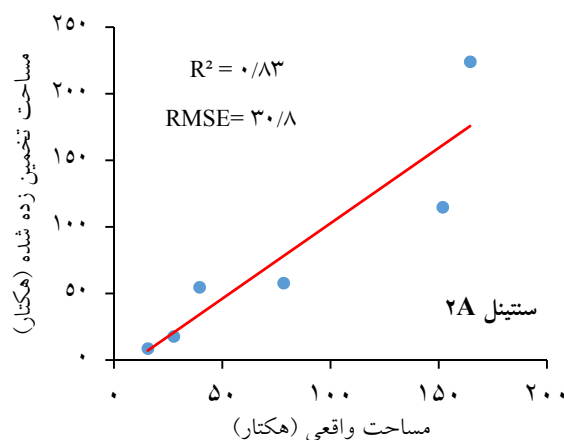
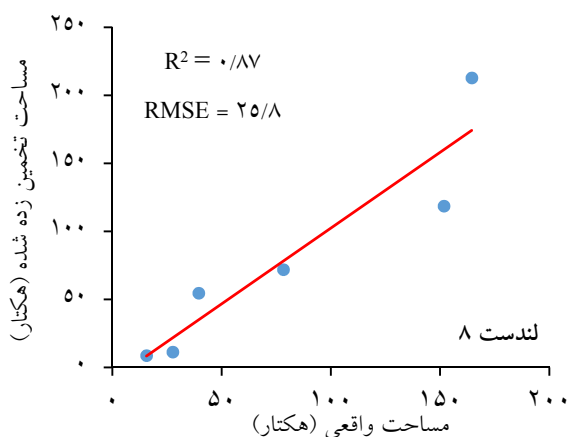
فیلتر	نام رقم	دقت تولید (درصد)	دقت کاربر (درصد)	خطای اضافه (درصد)	خطای حذف (درصد)	دقت نهایی (درصد)	ضریب کاپا
بدون فیلتر	احمد آقایی	۴۱/۳۵	۳۸/۹۹	۶۱/۰۱	۵۸/۶۵		۰/۷۱
	کله قوچی	۵۱/۲۲	۵۳/۴۴	۴۶/۵۶	۴۸/۷۸		
	اکبری	۷۱/۵۷	۶۰/۱۴	۳۹/۸۶	۲۸/۴۳	۸۰/۰	
	فندقوی	۴۷/۲۵	۳۷/۹۲	۶۲/۰۸	۵۲/۷۵		
	کله قوچی و فندقوی	۳۶/۵	۷۰/۹۷	۲۹/۰۳	۶۳/۵		
	مسیر و بدون پوشش	۶۷/۸۷	۸۶/۴۵	۱۳/۵۵	۳۲/۱۳		
فیلتر میانه ۳×۳	احمد آقایی	۴۱/۳۱	۶۴/۳۱	۳۵/۶۹	۵۸/۶۹		۰/۷۵
	کله قوچی	۵۲/۱۳	۷۰/۶۷	۲۹/۳۳	۴۷/۸۷		
	اکبری	۸۲/۹۴	۶۱/۰۸	۳۸/۹۲	۱۷/۰۶	۸۲/۶	
	فندقوی	۵۹/۴۳	۴۳	۵۷	۴۰/۵۷		
	کله قوچی و فندقوی	۴۱/۰۳	۷۵/۰۳	۲۴/۹۷	۵۸/۹۷		
	مسیر و بدون پوشش	۶۶/۵۴	۸۸/۳۴	۱۱/۶۶	۳۳/۴۶		

و ۳۰/۸ هکتار به ترتیب برای ماهواره لندست و سنتینل ۲A نشان‌دهنده خطای ۵/۴ و ۶/۴ درصد نسبت به مساحت کل مزرعه است. با توجه به جدول ۶ و شکل ۷ باید توجه داشت که هرچند میزان همبستگی و خطای RMSE بین مساحت واقعی و تخمین زده شده با استفاده از تصاویر لندست ۸ نسبت به سنتینل ۲A بالاتر است اما با توجه به اینکه خطای حذف و اضافه در طبقه تصاویر سنتینل ۲A کمتر است؛ در مجموع دقت طبقه‌بندی سنتینل ۲A بهتر است. زیرا علاوه بر اینکه مساحت هرکدام از ارقام با دقت بالا تخمین زده شده، مکان و موقعیت هرکدام از ارقام در نقشه طبقه‌بندی شده صحیح تفکیک شده است.

درصد مساحت واقعی هرکدام از ارقام پسته با توجه با نقشه واقعیت زمینی و مساحت تخمین زده شده با روش طبقه بندی حداکثر تشابه تصاویر ماهواره لندست ۸ و سنتینل ۲A در جدول ۶ نشان داده شده است. شکل ۷ میزان همبستگی و خطای RMSE مقادیر مساحت واقعی و تخمین زده شده ارقام پسته با استفاده از طبقه بندی تصاویر لندست و سنتینل ۲A را نشان می‌دهد. با توجه به شکل میزان همبستگی و خطای RMSE بین مساحت واقعی و تخمین زده شده با استفاده از طبقه بندی تصویر ۲۲ خرداد لندست ۸ به ترتیب ۰/۸۷ و ۲۵/۸ هکتار و برای طبقه تصویر ۲۴ خرداد ماهواره سنتینل ۲A به ترتیب ۰/۸۳ و ۳۰/۸ هکتار است. میزان خطای RMSE، ۲۵/۸

جدول ۶. میزان و درصد مساحت واقعی ارقام پسته و تخمین زده شده طبقه بندی تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲A

نام	مساحت واقعی		مساحت تخمین زده شده با ماهواره		مساحت تخمین زده شده با ماهواره	
	مساحت (هکتار)	درصد	لندست (با فیلتر ۳×۳)	درصد	سنتینل ۲A (با فیلتر ۳×۳)	درصد
احمد آقایی	۲۷/۶	۵/۷	۱۱/۳	۲/۴	۱۷/۷	۳/۷
کله قوچی	۷۸/۳	۱۶/۴	۷۱/۸	۱۵/۰	۵۷/۸	۱۲/۱
اکبری	۱۶۴/۵	۳۴/۴	۲۱۲/۷	۴۴/۵	۲۲۴/۰	۵۰/۰
فندقی	۳۹/۵	۸/۲	۵۴/۵	۱۱/۴	۵۴/۶	۱۲/۲
کله قوچی و فندقی	۱۵/۶	۳/۳	۸/۷	۱/۸	۸/۶	۱/۸
مسیر، بدون کشت	۱۵۱/۸	۳۱/۷	۱۱۸/۵	۲۴/۸	۱۱۴/۸	۲۵/۵



شکل ۷. میزان همبستگی و خطای RMSE بین مقادیر مساحت واقعی و تخمین زده شده ارقام پسته با استفاده از طبقه بندی تصاویر

لندست و سنتینل ۲A

بحث و نتیجه گیری

در پژوهش حاضر قابلیت طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۲A در تعیین محدوده و سطح زیر کشت چهار رقم پسته اکبری، احمد آقایی، کله قوچی و فندقی در یک مزرعه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت. دقت چهار الگوریتم طبقه‌بندی متوازی‌السطوح، کمترین فاصله، فاصله ماهالانویس و بیشترین تشابه در تفکیک ارقام پسته مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج الگوریتم حداکثر تشابه نسبت به سایر الگوریتم‌های طبقه‌بندی دارای بالاترین دقت بود. به طوری که دقت نهایی و ضریب کاپا در طبقه‌بندی تصویر تاریخ ۲۲ خرداد ۱۳۹۷ ماهواره لندست ۸ بدون فیلتر به ترتیب ۷۶/۸ درصد و ۰/۶۷ و با انجام فیلتر میانه سه در سه، ۷۹/۶ و ۰/۷۱ به دست آمد و کمترین دقت طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی متوازی‌السطوح به دست آمد. در تهیه نقش تپ‌های جنگل‌های زاگرس و همچنین تهیه نقشه تپ‌های گیاهی منطقه حفاظت‌شده گلول و سرانی استان خراسان شمالی با استفاده از داده‌های ETM⁺ و LISS III کارایی بهتر الگوریتم حداکثر تشابه در طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای ETM⁺ و LISS III نسبت به الگوریتم متوازی‌السطوح و کمترین فاصله از میانگین نشان داده شد (۱ و ۳). در تهیه نقشه پوشش اراضی اصفهان نیز روش حداکثر تشابه نسبت به روش حداقل فاصله از میانگین دارای دقت بالاتری بود (۵). در تفکیک و طبقه‌بندی پنج رقم سویا با استفاده از تصاویر ابر طیفی سنجنده هایپریون نیز نتایج نشان داد الگوریتم حداکثر تشابه با دقت نهایی ۸۹/۸۰ درصد نسبت به الگوریتم‌های نقشه‌بردار زاویه طیفی، ماشین بردار پشتیبان و واگرایی اطلاعات طیفی دارای عملکرد بهتری است (۱۵). بر اساس نتایج بهترین زمان برای تفکیک ارقام پسته مورد بررسی اواخر خرداد است. به طوری ضریب کاپای طبقه‌بندی با الگوریتم حداکثر تشابه در تاریخ ۲۲ خرداد ۰/۶۷ و به ترتیب در تاریخ‌های ۲۳ تیر، ۲۴ مرداد و ۲۵ شهریور ۰/۶۴، ۰/۶۳ و ۰/۶۳ به دست آمد. دقت نهایی و ضریب کاپای طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم حداکثر تشابه در تصویر تاریخ ۲۴ خرداد ۱۳۹۷ ماهواره سنتینل ۲A به ترتیب ۸۰ درصد و

۰/۷۱ به دست آمد. با انجام عمل فیلتر میانه با اندازه پنجره سه در سه بر روی تصویر طبقه‌بندی‌شده سنتینل ۲A میزان دقت نهایی و ضریب کاپا به ترتیب به ۸۲/۶ و ۰/۷۵ افزایش یافت. میزان ضریب کاپای ۰/۷۱ در طبقه‌بندی تصاویر لندست ۸ و ۰/۷۵ در طبقه‌بندی تصاویر سنتینل ۲A برای تفکیک ارقام پسته با توجه سنجنده‌های چند طیفی این ماهواره‌ها فوق‌العاده مناسب است. زیرا چنانچه دقت کلی در نقشه‌های تولیدشده بیش از ۷۰ درصد باشد صحت نقشه‌های تولیدی قابل اعتماد است (۱۶). دقت نهایی و ضریب کاپای طبقه‌بندی و تفکیک ارقام پسته در تصاویر سنتینل ۲A نسبت به تصاویر لندست ۸ بالاتر بود. علت این دقت بالاتر ناشی از تعداد باندهای بیشتر و همچنین قدرت تفکیک مکانی بالاتر این سنجنده است. از آنجایی ارقام پسته ممکن است خواص طیفی متمایز را در محدوده‌های خاصی و باریکی از طول‌موج به‌طور مجزا نشان دهد تعداد باند بیشتر با محدوده‌های باریک‌تر در طیف الکترومغناطیس دقت طبقه‌بندی را بالاتر می‌برد (۳۱). در سنجنده MSI ماهواره سنتینل ۲A تعداد سه باند لبه قرمز وجود دارد در صورتی در سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ باند لبه قرمز وجود ندارد. در این زمینه به‌عنوان نمونه در پژوهشی نشان داده شد محدوده‌های سبز، لبه قرمز، مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز طول‌موج کوتاه در تفکیک ارقام سویا دارای اهمیت بالایی هستند (۱۵).

همان‌طور که در مقدمه اشاره شد تکنیک‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به‌طور گسترده در تهیه نقشه کاربری اراضی، پوشش زمین و بررسی تغییرات آن‌ها و تعیین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و تعیین تپ‌های گیاهی به‌طور موفقیت‌آمیز مورد استفاده قرار گرفته است (۴، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴). باین‌حال از روش‌های تفکیک و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره به‌ویژه با استفاده از داده‌های سنجنده‌های چند طیفی به‌منظور تفکیک و طبقه‌بندی ارقام یک‌گونه با توجه به بازتاب‌های طیفی مشابه کمتر استفاده شده است. در این زمینه از تصاویر ابر طیفی سنجنده هایپریون برای تفکیک و طبقه‌بندی پنج رقم مختلف برنج (۳۲)، پنج رقم سویا (۱۵)، سه رقم

مقایسه میزان کارایی سه روش رایج طبقه بندی نظارت شده داده های ماهواره ای در مطالعه پوشش گیاهی. سنجش ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵(۳): ۷۷-۸۹.

۲. اخباری، م.، ا. رنجبر و س. م. ب. فاطمی. ۱۳۸۵. بررسی روش های طبقه بندی تصاویر ماهواره ای. فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۱۵(۵۹): ۶۱-۶۴.

۳. پرما، ر.، ش. شتایی جویباری، ی. خداکرمی و ه. حبشی. ۱۳۸۸. ارزیابی داده های ماهواره ای ETM⁺ و LISS III برای تهیه نقشه تیپ در جنگل های زاگرس (مطالعه موردی: جنگل های قلاجه استان کرمانشاه). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۷(۴): ۵۹۴-۶۰۶.

۴. رضایی مقدم، م. ح.، ص. اندریانی، خ. ولیزاده کامران و ف. الماس پور. ۱۳۹۵. تعیین بهترین الگوریتم استخراج کاربری - پوشش اراضی و کشف تغییرات از تصاویر ماهواره ای لندست (مطالعه موردی: حوضه صوفی چای مراغه). فضای جغرافیایی، ۱۶(۵۵): ۶۵-۸۵.

۵. سفینیان، ع. و م. مدنیان. ۱۳۹۰. مقایسه روش های طبقه بندی کننده حداکثر مشابهت و حداقل فاصله از میانگین در تهیه نقشه پوشش اراضی (مطالعه موردی: استان اصفهان). مجله علوم آب و خاک، ۱۵(۵۷): ۲۵۳-۲۶۴.

۶. شرافتی، ع.، ک. ارزانی و م. رمضانی مقدم. ۱۳۹۲. ارزیابی گلدهی و میوه دهی دوازده رقم پسته (*Pistacia vera* L.) در شرایط آب و هوایی خراسان. به نژادی نهال و بذر، ۲۹(۲): ۲۴۳-۲۵۶.

۷. ظفریان، ا.، ع. ابراهیمی و ر. امید پور. ۱۳۹۷. بررسی کارایی روش های طبقه بندی تصاویر ماهواره ای در پایش تغییرات پوشش اراضی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهرکرد، چهارمحال و بختیاری). مرتع آبخیزداری، ۷۱(۳): ۶۹۹-۷۱۴.

۸. علی خواه اصل، م. و ا. فروتن. ۱۳۹۲. استفاده از روش طبقه بندی فازی برای تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی زیر حوزه آبخیز حبله رود). انسان و محیط زیست، ۱(۳۵-۲۴): ۴۱-۴۷.

۹. علی زاده، پ.، ب. کامکار، ش. شتایی و ح. کاظمی. ۱۳۹۷. برآورد تغییرات سطح زیرکشت گندم و سویا با استفاده از طبقه بندی تصاویر ماهواره ای در غرب استان گلستان. پژوهش های کاربردی زراعی، ۳۱(۳): ۴۱-۶۱.

متفاوت از هرکدام از گونه های برنج، نیشکر، فلفل و پنبه (۲۷) استفاده شد که در تمام این پژوهش ها دقت نهایی بالاتر از ۸۵ درصد به دست آمد. در پژوهشی نیز ارقام مختلف چای با استفاده از دوربین ابر طیفی نصب شده بر روی پهپاد با دقت نهایی بالای ۹۵ درصد طبقه بندی شد (۳۴). همچنین از سنجنده های ابر طیفی هوایی نیز برای تفکیک ارقام انگور (۲۰)، ارقام برنج (۳۶) و نقشه برداری گونه های گیاهی مانگرو (۱۹) به طور مؤثر استفاده شد. در پژوهشی نتایج طبقه بندی پنج رقم سویا با استفاده از تصاویر ابر طیفی سنجنده هایپریون و شبیه سازی محدوده های طیفی هفت سنجنده چند طیفی نشان داده شد، دقت نهایی طبقه بندی با روش حداکثر تشابه برای داده های سنجنده ابر طیفی هایپریون ۸۹/۸۰ و برای داده های شبیه سازی شده سنجنده های MODIS و ETM⁺ به ترتیب دقت نهایی ۸۶/۷ و ۸۵/۹ درصد است (۱۵). نتایج این مطالعه نشان می دهد سنجنده های چند طیفی نیز می توانند دارای دقت طبقه بندی مناسب در تفکیک ارقام باشند. با این حال عوامل متعددی نظیر شباهت امضا طیفی، بازتاب خاک زمینه، فنولوژی ارقام مختلف می تواند در به دست آوردن دقت مناسب نقش داشته باشد. بنابراین نمی توان ذکر کرد همواره تصاویر چند طیفی و حتی ابر طیفی در طبقه بندی ارقام یک گونه موفق عمل می نماید.

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد به منظور طبقه بندی ۴ رقم پسته الگوریتم طبقه بندی حداکثر تشابه دارای نتایج مطلوبی است و بهترین زمان برای تفکیک و طبقه بندی ارقام پسته مورد مطالعه اواخر خرداد است. نتایج طبقه بندی ارقام پسته با استفاده از تصاویر لندست و سنتینل ۲A با توجه به چند طیفی بودن سنجنده های این ماهواره مناسب است. در مجموع بر اساس نتایج تکنیک های طبقه بندی سنجش ازدور دارای قابلیت بالایی به منظور نقشه برداری کشاورزی و باغی به ویژه در سطوح وسیع می باشند.

منابع مورد استفاده

۱. احمدپور، ا.، ک. سلیمانی، م. شکری و ج. قربانی. ۱۳۹۳.

19. Kamal M, Phinn S. 2011. Hyperspectral data for mangrove species mapping: A comparison of pixel-based and object-based approach. *Remote Sensing*, 3(10): 2222-2242. doi:https://doi.org/10.3390/rs3102222.
20. Lacar F, Lewis M, Grierson I. 2001. Use of hyperspectral imagery for mapping grape varieties in the Barossa Valley, South Australia. In: IGARSS 2001. Scanning the Present and Resolving the Future. Proceedings. IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Cat. No. 01CH37217). IEEE, pp 2875-2877.
21. Landgrebe D. 2002. Hyperspectral image data analysis. *IEEE Signal processing magazine*, 19(1): 17-28. doi:https://10.1109/79.974718.
22. Lennon R. 2006. Remote sensing digital image analysis: An introduction. United States: Esa/Esrin, 4th Edition, Chapter 1, Springer, Germany, Berlin, Heidelberg. 420 pp.
23. Lillesand T, Kiefer RW, Chipman J. 2015. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, 736 pp.
24. Löw F, Michel U, Dech S, Conrad C. 2013. Impact of feature selection on the accuracy and spatial uncertainty of per-field crop classification using Support Vector Machines. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 85: 102-119. doi:https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.08.007.
25. Murmu S, Biswas S. 2015. Application of fuzzy logic and neural network in crop classification: a review. *Aquatic Procedia*, 4: 1203-1210. doi:https://10.1016/j.aqpro.2015.02.153.
26. Ozden-Tokatli Y, Akdemir H, Tilkat E, Onay A. 2010. Current status and conservation of Pistacia germplasm. *Biotechnology Advances*, 28(1): 130-141. doi:https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.10.006.
27. Pahlevan N, Sarkar S, Franz BA, Balasubramanian SV, He J. 2017. Sentinel-2 MultiSpectral Instrument (MSI) data processing for aquatic science applications: Demonstrations and validations. *Remote Sensing of Environment*, 201: 47-56. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.08.033.
28. Rao NR, Garg PK, Ghosh SK. 2007. Development of an agricultural crops spectral library and classification of crops at cultivar level using hyperspectral data. *Precision Agriculture*, 8(4): 173-185. doi:10.1007/s11119-007-9037-x.
29. Richards JA, Richards J. 1999. Remote sensing digital image analysis, vol 3. Springer.
30. Schweizer SM, Moura JM. 2001. Efficient detection in hyperspectral imagery. *IEEE Transactions on image processing*, 10(4): 584-597. doi:http://10.1109/83.913593.
۱۰. علیپور، ف.، م. ح. آق خانی، م. ح. عباسپور فرد و ع. سپهر. ۱۳۹۳. تفکیک محدوده و تخمین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی به کمک تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺ (مطالعه موردی: مزرعه نمونه استان قدس رضوی). ماشین‌های کشاورزی، ۲(۲): ۲۴۴-۲۵۴.
۱۱. علی محمدی، ع.، ع. متکان، پ. ضیائیان و ه. طباطبایی. ۱۳۸۸. مقایسه روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه، شیء پایه و درخت تصمیم در تهیه نقشه تیپ‌های جنگل با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: جنگل آستارا). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۹(۸): ۷-۲۶.
۱۲. فرزاد مهر، ج. و ک. تباکی بجنستانی. ۱۳۹۷. تعیین قابلیت تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در تخمین سطح زیر کشت زعفران (نمونه موردی: شهرستان تربت‌حیدریه). علمی پژوهشی زراعت و فناوری زعفران، ۶(۱): ۴۹-۶۰.
۱۳. کاکه ممی، آ. و ا. قربانی. ۱۳۹۶. مقایسه سه روش تفسیر چشمی، طبقه‌بندی شیء‌گرا و طبقه‌بندی نظارت‌شده در تهیه نقشه کاربری/پوشش اراضی حوزه آبخیز ملاً احمد اردبیل. اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۸(۴): ۲۹-۴۳.
۱۴. میرزایی زاده، و.، م. نیک نژاد و ج. اولادی قادی‌کلایی. ۱۳۹۴. ارزیابی الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده غیر پارامتریک در تهیه نقشه پوشش زمین با استفاده از تصاویر لندست ۸. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۳): ۲۹-۴۴.
15. Breunig FM, Galvao LS, Formaggio AoR, Epiphanyo JC. 2011. Classification of soybean varieties using different techniques: case study with Hyperion and sensor spectral resolution simulations. *Journal of Applied Remote Sensing*, 5(1): 053533. doi:https://doi.org/10.1117/1.3604787.
16. Chuang C-W, Lin C-Y, Chien C-H, Chou W-C. 2011. Application of Markov-chain model for vegetation restoration assessment at landslide areas caused by a catastrophic earthquake in Central Taiwan. *Ecological Modelling*, 222(3): 835-845. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.11.007.
17. FAO. 2010. Statistical database. Rome: Food and Agriculture Organization, 55 pp.
18. Irons JR, Dwyer JL, Barsi JA. 2012. The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission. *Remote Sensing of Environment*, 122: 11-21. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026.

31. Shwetank JK, Bhatia K. 2010. Review of rice crop identification and classification using hyperspectral image processing system. *International Journal of Computer Science & Communication*, 1(1): 253-258.
32. Shwetank S, Jain K, Bhatia K. 2012. Development of digital spectral library and supervised classification of rice crop varieties using hyperspectral image processing. *Asian Journal of Geoinformatics*, 11(3): 1-15.
33. Tatsumi K, Yamashiki Y, Canales Torres MA, Taipei CLR. 2015. Crop classification of upland fields using Random forest of time-series Landsat 7 ETM+ data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 115: 171-179. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.05.001>.
34. Tu Y, Bian M, Wan Y, Fei T. 2018. Tea cultivar classification and biochemical parameter estimation from hyperspectral imagery obtained by UAV. *PeerJ*, 6: e4858.
35. Wang F, Qin Z, Song C, Tu L, Karnieli A, Zhao S. 2015. An improved mono-window algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat 8 thermal infrared sensor data. *Remote sensing*, 7(4): 4268-4289. doi:<https://doi.org/10.3390/rs70404268>.
36. Zhang X, Sun Y, Shang K, Zhang L, Wang S. 2016. Crop classification based on feature band set construction and object-oriented approach using hyperspectral images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(9): 4117-4128. doi:<http://10.1109/JSTARS.2016.2577339>.



Evaluation of supervised classification capability of Landsat-8 and Sentinel-2A Satellite images in determining type and area of *Pistachio* Cultivars

H. Zare Khormizie^{1*}, H. R. Ghafarian Malamiri², M. Mortaz³

1. PhD Student of Range Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2. Assist. Prof. Department of Geography, Faculty of Humanities & Social Sciences, Yazd University, Iran

3. MSc. Graduated of Horticulture and Agronomy, Department of Plant Science, University of California, Davis, California

ARTICLE INFO

Article history:

Received 21 December 2019

Accepted 7 March 2020

Available online 16 April 2020

Keywords:

Supervised classification

Maximum likelihood algorithm

Pistachio cultivars

Kappa coefficient

Remote sensing

ABSTRACT

Remote sensing technique is one of the most effective tools for monitoring, studying and determining the cultivation area of agricultural and horticultural crops, especially on a large scale. Planners, managers, and farmers, with knowledge of the type and extent of crop cultivation, can adopt appropriate management and enforcement policies. The purpose of the present study was to evaluate the supervised classification ability to classify Landsat 8 and Sentinel-2A multi-band satellite imagery in determining the cultivated area and type of four varieties of *Pistachio* namely such as; Akbari, Kalle Ghuchi, Ahmad Aghaei and Fandooki in an orchard in the Yazd province. In the present study, the accuracy of four classification algorithms, namely: Parallelepiped classification, Minimum distance, Mahalanobis distance and Maximum likelihood, as well as the optimum time in the separation of pistachio cultivars, were investigated. According to the classification results of a Landsat-8 image, on June 12, 2018, the Maximum likelihood algorithm with a final accuracy and Kappa coefficient of 76.8% and 0.67% and Parallelepiped classification algorithm with the final and Kappa coefficients of 64.7 and 0.47, were of highest and lowest accuracy among others, respectively. Also, according to the results, the best time for the separation of *Pistachio* cultivars was in late June. The Kappa coefficient of maximum likelihood classification algorithm on June 22, July 23, August 24 and September 25 of 2018 were 0.67, 0.64, 0.63 and 0.63, respectively. The final accuracy and Kappa coefficient of maximum likelihood classification algorithm on the Sentinel-2A Satellite images on 12 June 2018, were 80% and 0.71, respectively. By applying the median filter with a 3×3 dimensional kernel window size on the classified image, the final accuracy and Kappa coefficient was increased to 82.6% and 0.75, respectively. The final accuracy and Kappa coefficient of classification and separation of *Pistachio* cultivars in Sentinel-2A images were higher than in Landsat-8 images. Overall, based on our results, the remote sensing classification techniques, as well as multi-spectral satellite imagery, are suitable for agricultural and horticultural mapping.

* Corresponding author e-mail address: hadi.zarekh@ut.ac.ir