

مقاله علمی - پژوهشی

## مقایسه روش‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر پهپادی برای برآورد درصد پوشش گیاهی ذرت

مسعود سلطانی<sup>۱\*</sup>

### چکیده

پیشرفت فناوری‌های جدید و گسترش عمومی آن‌ها، امکان تولید داده‌های ارزشمندی را برای متخصصان علوم مختلف از جمله کشاورزی، به منظور افزایش بهره‌وری و تولید محصول باکیفیت، فراهم می‌آورد. ثبت تصاویر هوایی به کمک پرنده‌های هدایت‌پذیر از راه دور (پهپاد) و به کارگیری الگوریتم‌های پردازش تصویر، می‌تواند تحلیلی با دقت بالا و بهنگام از وضعیت گیاه در اختیار کشاورز قرار دهد. در این پژوهش برای برآورد شاخص کسر پوشش گیاهی ذرت، از تصاویر پهپادی استفاده شد و چهار الگوریتم مختلف طبقه‌بندی نظارت‌شده شامل ماشین بردار پشتیبان (SVM)، حداقل فاصله اقلیدسی از میانگین (MDM)، حداقل فاصله ماهالانوبیسی از میانگین (MDC) و روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال (MLC) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد کمترین میزان دقت در تفکیک کلاس‌ها و تعیین کسر پوشش گیاهی مربوط به روش MDM با صحت کلی ۷۳/۴ درصد و ضریب کاپا ۰/۶۱ است. اگرچه سه روش دیگر صحت کلی بالای ۹۰ درصد داشتند ولی روش MDC توانسته است با صحت کلی ۹۴/۵ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۲ بهترین عملکرد را داشته باشد. اگرچه روش SVM نیز نتایج نزدیک و خوبی را داشته است ولی زمان پردازش تصویر در این روش بسیار بالاتر از روش MDC است. نتایج نشان داد روش MLC اگرچه از نظر صحت کلی و ضریب کاپا در رتبه سوم بین روش‌های مورد بررسی قرار می‌گیرد ولی در تشخیص پیکسل‌های برگ و سایه گیاه، بسیار دقیق بوده است. به طوری که بالاترین صحت تولید کلاس برگ و سایه گیاه را به ترتیب ۹۸/۳ و ۹۹/۰۱ درصد داشت. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت، الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، می‌تواند روش‌های قابل اعتمادی در برآورد شاخص‌های گیاهی با دقت مطلوب باشد و به کارگیری این روش‌ها هم در پژوهش‌های میدانی وسیع و هم در تحلیل‌های کاربردی مزرعه‌ای پیشنهاد می‌گردد.

### واژه‌های کلیدی: طبقه‌بندی نظارت‌شده، SVM، MDM، MDC و MLC

### مقدمه

نمونه‌برداری زمینی بکار گرفته می‌شود، بنابراین برآورد این شاخص مهم با استفاده از برآورد کسر پوشش گیاهی یا  $CCF^2$  پیشنهاد می‌گردد. برای این منظور می‌توان از تصاویر دوربین‌های دیجیتال و بدون آسیب زدن به بوته گیاه مقدار دقیق CCF را تعیین و از مدل‌های ریاضی موجود، مقدار  $LAI^3$  را تخمین زد. پایش CCF در طول دوره رشد گیاه می‌تواند بیانگر وضعیت سلامت و چگونگی محیط رشد از نظر وجود یا عدم تنش‌های

شاخص سطح برگ و کسر پوشش گیاهی دو پارامتر مهم در ارزیابی کیفی روند رشد گیاه و همچنین مدل‌سازی توابع تولید محسوب می‌شود. از آنجایی که شاخص سطح برگ در طول روز تغییر می‌کند و برای به دست آوردن آن، روش‌های تخریبی

<sup>۱</sup> استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران (\* - نویسنده مسئول: msoltani@eng.ikiu.ac.ir)

2 - Canopy Cover Fraction  
3 - Leaf Area Index

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵

شناسایی بیماری‌های مؤثر بر درختان مرکبات در کشور و همچنین سایر مناطق تولید مرکبات بود. تراهی و همکاران، (۱۳۹۶) برای تهیه نقشه کاربری اراضی جنگل‌های رودخانه‌ای با استفاده از سنجنده OLI<sup>۱</sup> ماهواره لندست ۸، دو الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌شده ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال را مقایسه کردند. در این تحقیق برای ارزیابی دقت نتایج، سه گروه نمونه‌های آموزشی مختلف (۲۴۱، ۱۴۱ و ۴۱)، دو گروه تعداد کلاس کاربری (هفت و سه) و چهار هسته خطی، چندجمله‌ای، شعاعی و حلقوی بررسی شد. نتایج نشان داد که تهیه نقشه طبقه‌بندی جنگل‌های رودخانه‌ای مارون و تفکیک کاربری‌ها با استفاده از سنجنده OLI امکان‌پذیر است و بهترین نتیجه مربوط به طبقه‌بندی، با استفاده از الگوریتم Polynomial SVM در باندهای اصلی سنجنده و با سه کلاس کاربری و صحت کلی ۹۹/۲۴ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۷ به دست آمد. بررسی‌ها نشان داد با کاهش تعداد کلاس‌های کاربری از هفت به سه، صحت طبقه‌بندی افزایش می‌یابد ولی با کاهش تعداد نمونه‌های آموزشی تا حد میانگین، تغییر محسوسی در کیفیت طبقه‌بندی رخ نمی‌دهد و در صورت کاهش زیاد تعداد نمونه‌ها، از صحت طبقه‌بندی نیز کاسته می‌شود.

مافی و همکاران (۱۴۰۰) در تحقیقی به بررسی روند تغییرات سطح آب تالاب یعقوب‌آباد با استفاده از تصاویر چند زمانه پرداخته شد. برای این منظور تصاویر سنجنده ETM<sup>۲</sup>+ ماهواره لندست ۷ و سنجنده OLI ماهواره لندست ۸، مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ با روش طبقه‌بندی تصویر بر اساس بیشترین احتمال (روش طبقه‌بندی نظارت‌شده Maximum Likelihood Classification) پردازش شد. دقت پردازش تصاویر هر دو دوره بر مبنای ضریب کاپا بیش از ۷۰ درصد بود. نتایج مقایسه محدوده پیکره آبی تالاب در دو دوره، نشان‌دهنده‌ی افزایش قابل توجه سطح آب در فصل سرد در تالاب داشت که ارتباط معنادار با میزان بارش باران در منطقه داشت. با توجه به عدم برداشت اطلاعات زمینی مربوط به وضعیت تالاب در دوره‌ی اول

محیطی باشد. همچنین تعیین سرعت رشد گیاه، برآورد عملکرد دانه، بررسی میزان فتوسنتز، برآورد و پیش‌بینی عملکرد محصول، آشکارسازی وجود علائم کمبود رطوبت و تنش‌های خشکی، شوری و مواد مغزی گیاه از جمله کاربردهای دیگر در تجزیه و تحلیل این شاخص مهم بیوفیزیکی گیاه است (Dente et al., 2008; Fang et al., 2008). پیشرفت و تولید ابزارهای جدید در زمینه ثبت تصاویر با کیفیت بالا به کمک پرده‌های هدایت‌پذیر از راه دور (پهپاد)، این امکان را برای پژوهشگران و متخصصان علم کشاورزی فراهم آورده است تا با به‌کارگیری الگوریتم‌های پردازش تصویر به بهبود شرایط و افزایش بهره‌وری در حوزه‌های مختلف کشاورزی، کمک کنند. از جمله این کاربردها می‌توان به طبقه‌بندی و تولید نقشه‌های کاربری اراضی، نقشه‌برداری محصولات زراعی، تشخیص علف هرز و آشکارسازی تنش‌های گیاهی، وضعیت آبیاری و درصد خیس شدگی سطحی خاک، پایش ریزگردها، تغییرات سطح آب در تالاب‌ها، درجه‌بندی کیفی محصول، برآورد میزان خشکیدگی و پهنه‌بندی درصد سوختگی برگ تاج پوشش درختی، تشخیص گونه‌های گیاهی، تغییرات سطح پوشش گیاهی در جنگل‌ها و بررسی تغییرات کاربری اراضی در سری زمانی مشخص اشاره کرد (اسدی و شمس‌الدینی، ۱۴۰۳؛ خلیلی و همکاران، ۱۴۰۲؛ میرکی و همکاران، ۱۴۰۱؛ کارگر و همکاران، ۱۴۰۰؛ برازمنده و همکاران، ۱۳۹۸؛ Maes and Steppe, 2019).

میرکی و همکاران (۱۴۰۱) برای آشکارسازی پایه‌های درختی پرتقال و شناسایی درختان دارای تنش از تصاویر طیفی برداشت‌شده با پهپاد استفاده کردند. در این پژوهش پس از پردازش تصاویر و تولید مدل ارتفاع تاج در پنج اندازه پیکسل مختلف، آشکارسازی درختان پرتقال با استفاده از الگوریتم رشد ناحیه‌ای انجام شد. مدل ارتفاع تاج با اندازه پیکسل ۵۰ سانتیمتر، بالاترین مقدار صحت کلی (۰/۶۳) را داشت. نتایج تحقیق نشان داد، الگوریتم‌های طبقه‌بندی برای تشخیص درختان دارای تنش با صحت کلی ۶۹ درصد، کارایی پهپادها برای آگاهی دادن به بهره‌برداران را نشان داد. در واقع نتایج این تحقیق بیانگر امکان استفاده از تصاویر پهپاد به‌عنوان یک ابزار یا روش ارزشمند برای

1 - Operational Land Imager

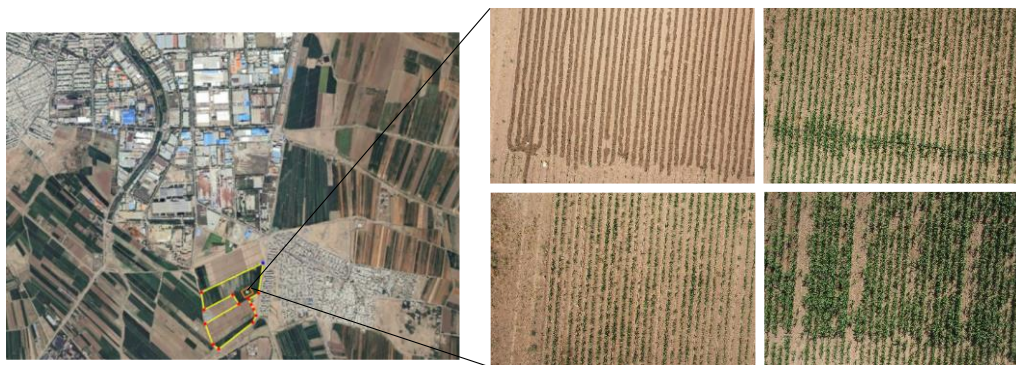
2 - Enhanced Thematic Mapper Plus

از جمله NDVI، SAVI و EVI در پژوهش‌های مشابه، منوط به وجود باند مادون قرمز است. با توجه به محدودیت عدم وجود سنسورهای مادون قرمز در پهپادهای وارداتی و همچنین محدودیت‌های امنیتی برای استفاده از این نوع پهپادها، در این پژوهش از تصاویر باند مرئی برای محاسبه کسر پوشش گیاهی استفاده شد که کارایی بالایی دارد و دسترسی به این سنسورها نسبت به سنسورهای مادون قرمز محدودیت‌های بسیار کمتری داشته و در دسترس هستند. هدف از این تحقیق، مقایسه دقت روش‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت‌شده بر اساس پردازش تصاویر پهپادی برای تعیین کسر پوشش گیاهی ذرت در مراحل مختلف رشد، است.

### مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر برای بررسی دقت روش‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت‌شده به منظور تعیین کسر پوشش گیاهی ذرت از تصاویر هوایی پهپاد استفاده شد. منطقه مورد مطالعه اراضی کشاورزی شهرک صنعتی البرز در استان قزوین بود. شهر صنعتی البرز در کنار شهر الوند و در ۱۴ کیلومتری جنوب شرقی شهر قزوین واقع شده است (شکل ۱). شهرک صنعتی البرز، بین ۵۰ درجه و ۰۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۰۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی نسبت به خط استوا قرار دارد. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۱۱۴۰ متر است. دمای میانگین سالانه ۱۲/۲ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۳۲۰ میلی‌متر و متوسط تبخیر سالانه ۲۲۰۰ میلی‌متر بوده و بنا بر طبقه‌بندی دومارتن منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد است. بر اساس داده‌های وزارت جهاد کشاورزی (۱۴۰۳) گیاه ذرت، پس از گندم و جو، گیاه اصلی این استان است که حدود ۲۰ درصد از زمین‌های تحت آبیاری استان را اشغال کرده و محصول سالانه آن بیش از یک میلیون پانصد هزار تن تخمین زده شده است (بی‌نام، آمارنامه کشاورزی، محصولات زارعی، سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱).

مطالعه به صورت میدانی، روش بکار گرفته شده در این تحقیق توانست پایش تغییرات تالاب را با دقت نسبتاً مناسبی نشان دهد. گوینده نجف آبادی و همکاران (۱۳۹۷) با به کارگیری تصاویر پهپادی برای گیاه ذرت، توزیع مکانی شاخص سطح برگ را در مزرعه بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد ۹۶/۶ درصد از تغییرات شاخص سطح برگ در سطح مزرعه، توسط دو متغیر کسر پوشش گیاهی و باند مادون قرمز نزدیک وارد شده به مدل قابل تبیین بود. بیشترین همبستگی بین شاخص سطح برگ با کسر پوشش گیاهی ( $R^2=0/92$ ) و پس از آن با باند مادون قرمز نزدیک ( $R^2=0/74$ ) به دست آمد. سلطانی (۱۴۰۳) در مطالعه‌ای دو روش مختلف جداسازی و طبقه‌بندی را در برآورد درصد پوشش گیاهی ذرت مورد مقایسه قرارداد. نتایج این تحقیق نشان داد اگرچه دقت هر دو روش بالا بود، اما به طور میانگین روش جداسازی مقدار درصد پوشش گیاهی را ۱۰ درصد کم‌تر از الگوریتم طبقه‌بندی، به دست آورد. مطالعه پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد، پردازش تصاویر هوایی و ماهواره‌ای و به کارگیری الگوریتم‌های مختلف جداسازی و طبقه‌بندی، طیف وسیعی از کاربردها را در علوم کشاورزی و همچنین ارزیابی‌های مدیریتی دارد. اگرچه تصاویر ماهواره‌ای به عنوان داده‌های ارزشمند در علوم کشاورزی، کاربرد فراوان دارد ولی دقت مکانی آن‌ها نسبت به تصاویر پهپادی بسیار پایین‌تر است. همچنین محدودیت‌های دیگری از جمله وجود ابر در تصویر، می‌تواند کمیت و کیفیت داده‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. به همین منظور تصویربرداری با پهپاد می‌تواند تصاویری با دقت مکانی بسیار بالا (قدرت تفکیک مکانی کمتر از یک سانتی‌متر) را در اختیار محققان قرار دهد. پیش‌تر از این، دقت روش‌های مختلف طبقه‌بندی برای تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است ولی با افزایش روزافزون به کارگیری پهپادهای کشاورزی، لازم است بررسی مشابهی برای این تصاویر نیز انجام شود. نوآوری این پژوهش در مقایسه با سایر تحقیقات، استفاده از تصاویر باند مرئی در محاسبه کسر پوشش گیاهی است. محاسبه سایر شاخص‌های گیاهی

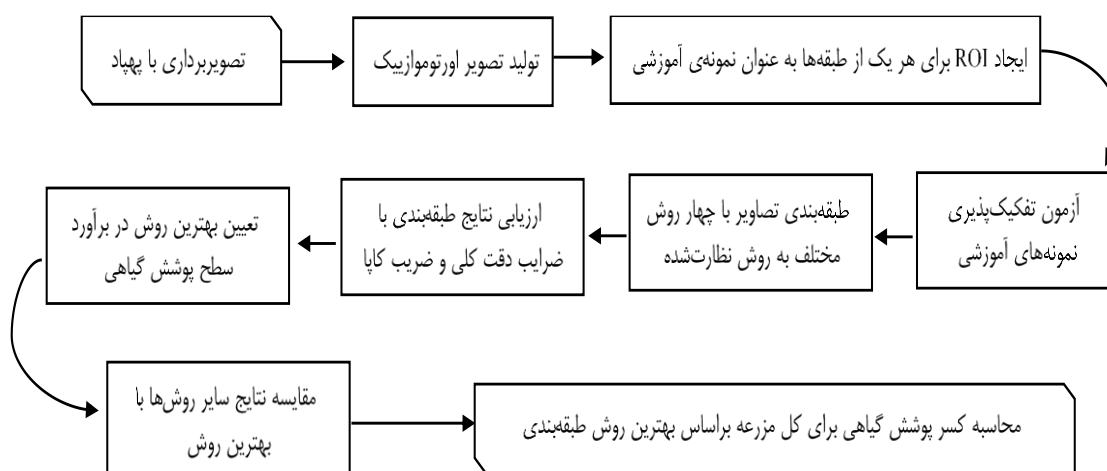


شکل ۱- محل محدوده مورد مطالعه و تصاویر پهبادی در مراحل مختلف رشد ذرت در ارتفاع ۳۰ متری از زمین

روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده لازم است برای هر کلاس یک تعداد نمونه آموزشی که می‌تواند به صورت نقطه با پلی گون تعریف شده باشد، توسط کاربرد تهیه و به صورت فایل جداگانه به عنوان منطقه مورد نظر یا ROI<sup>۱</sup> به نرم‌افزار معرفی گردد. تعداد نمونه‌ها به الگوریتم مورد استفاده برای طبقه‌بندی و یکنواختی تصویر بستگی دارد ولی یک قانون کلی پیشنهادی برای تعداد نمونه‌ها، ۳۰ برابر تعداد باندهای تصویر برای هر کلاس است. به طور مثال برای یک تصویر رنگی RGB<sup>۲</sup> که سه باند دارد برای هر کلاس حدود ۹۰ تا ۱۰۰ نمونه آموزشی باید آماده گردد که در تمام تصویر به طور یکنواخت پراکنده باشد. در این پژوهش از این پیشنهاد تقریبی در نمونه‌برداری آموزشی در همه روش‌های استفاده شد و برای مقایسه بهتر بین نتایج، برای هر چهار روش از یک سری نمونه‌های آموزشی ثابت استفاده شد (Tempfli, et al., 2009). با توجه به این که پس از آبیاری رنگ خاک تغییر می‌کند، در صورت تصویربرداری پس از آبیاری، لازم است در داده‌های آموزشی ورودی به نرم‌افزار این موضوع مورد توجه قرار گیرد. برای این منظور یا زمان تصویربرداری باید قبل از آبیاری باشد و یا در صورت خیس بودن سطح خاک، می‌توان با تعریف دو کلاس مختلف برای خاک خشک و خاک مرطوب، دقت طبقه‌بندی را افزایش داد. مراحل مختلف تصویربرداری، پردازش تصاویر، ارزیابی نتایج و برآورد کسر پوشش گیاهی در نمودار گردشی زیر نشان داده شده است.

برای بررسی درصد پوشش گیاهی، مزرعه‌ی ذرت با مساحت بیش از ۲۸ هکتار تعیین شد که در طول پژوهش از یک قطعه ۲/۵ هکتاری و در چهار مرحله رشد گیاه، تصویربرداری با پهپاد انجام شد. پهپاد مویک ۲ پرو شرکت DJI، مجهز به سنسور ۲۰ مگاپیکسلی "Hasselblad L1D-20c camera- 20 MP 1" CMOS sensor برای تصویربرداری از قطعه مورد مطالعه استفاده شد. ارتفاع پروازی ۳۰ متری بود که برای ثبت تصاویر با قدرت تفکیک مکانی زیر یک سانتی‌متر انتخاب گردید. به طور کلی تعداد ۴۴۱ تصویر هوایی در چهار مرحله مختلف رشد گیاه ذرت، در تابستان ۱۴۰۱ برداشت شد. پس از تصویربرداری و آماده‌سازی تصاویر برداشت‌شده، تعداد ۱۰۰ نمونه در مکان‌های مختلف مزرعه و در مراحل مختلف رشد گیاه برای پردازش و طبقه‌بندی مشخص شد. در مرحله پیش‌پردازش تصاویر، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Agisoft Metashape یک تصویر اورتو از کل مزرعه تهیه شد. سپس پردازش تصاویر و طبقه‌بندی آن‌ها بر روی تصویر اورتو و با استفاده از نرم‌افزار Envi 5.6 انجام شد. در مرحله پس‌پردازش با استفاده از شاخص‌های آماری، دقت نتایج طبقه‌بندی روش‌های مختلف از مقایسه نقاط کنترل زمینی و نقشه به‌دست‌آمده از نرم‌افزار Envi 5.6 مورد ارزیابی قرار گرفت. چهار الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌شده شامل ماشین بردار پشتیبان، حداقل فاصله اقلیدسی از میانگین، حداقل فاصله ماهالانوبیسی از میانگین و روش طبقه‌بندی حداکثر شباهت در کل قطعه ۲/۵ هکتار اعمال شد و ارزیابی دقت روش‌های مختلف برای طبقه‌بندی سه کلاس گیاه، زمین لخت و سایه‌های موجود در تصویر، بر اساس تعداد ۳۸۴ نقطه واقعیت زمینی انجام شد. در

1 - Region of Interest  
2 - Red- Green- Blue



شکل ۲- نمودار گردش مراحل مختلف پردازش تصویر برای برآورد کسر پوشش گیاهی

خصوصیات طیفی هر باند، از ماتریکس واریانس و بردار میانگین که خود، واریانس و همبستگی ارزش‌های طیفی را تعریف می‌کند، استفاده می‌شود (Stocker and Schaum, 1997). از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، این روش به‌عنوان دقیق‌ترین و پراستفاده‌ترین روش مورد استفاده قرار می‌گیرد. در کاربرد روش حداکثر احتمال فرض بر این است که همه مناطق آموزشی دارای پراکنش نرمال هستند. در حقیقت نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشد. شرط توزیع نرمال و تصادفی بودن نمونه‌های آموزشی در روش حداکثر احتمال اهمیت خاصی دارد (Richards, 2012).

#### روش حداقل فاصله از میانگین (MDM) (Minimum Distance to Mean)

در این روش ابتدا مقادیر میانگین طیفی در هر باند و برای هر کلاس تعیین می‌شود و پس از مشخص شدن پیکسلی که میانگین ارزش طیفی نمونه‌های انتخابی هر طبقه را به خود اختصاص داده است، فاصله اقلیدسی هر پیکسل طبقه‌بندی نشده با پیکسل‌های میانگین مقایسه می‌شود و پیکسل موردنظر به کلاسی اختصاص می‌یابد که کمترین فاصله را با میانگین آن دارد. (Richards, 2012). این نوع طبقه‌بندی از نظر ریاضی ساده

#### روش ماشین بردار پشتیبان (SVM Support Vector Machine)

این روش اولین بار توسط ولادیمیر واپنیک در دهه ۶۰ میلادی معرفی شد. وی نظریه‌ی آماری یادگیری را به‌صورت مستحکم‌تر بنا نهاد و ماشین‌های بردار پشتیبان را بر این اساس مطرح کرد. ماشین بردار پشتیبان، در واقع، یک طبقه‌بندی دودویی است. در مورد دو کلاس، این شیوه سعی دارد ابر صفحه‌ای ایجاد کند که فاصله‌ی هر کلاس را تا فرا صفحه حداکثر نماید. داده‌های نقطه‌ای که به فرا صفحه نزدیک‌ترند، برای اندازه‌گیری این فاصله بکار می‌روند؛ از این‌رو، این داده‌های نقطه‌ای بردارهای پشتیبان نام دارند (Vapnik, 1995). ماشین بردار پشتیبان در واقع یک روش آماری غیر پارامتریک نظارت‌شده است (خدمت زاده و همکاران، ۱۳۹۹).

#### روش حداکثر احتمال (MLC Maximum Likelihood Classifier)

در این روش میزان کمی واریانس و همبستگی ارزش‌های طیفی باندهای مختلف، برای مناطق نمونه (ROI) محاسبه می‌شود و از همین خاصیت برای ارتباط یک پیکسل طبقه‌بندی نشده به یکی از گروه‌ها یا کلاس استفاده می‌شود. به بیان دیگر، در واقع در این روش برای یک پیکسل بر مبنای احتمال آماری

$$Kappa\ coefficient = \frac{(OA-1/q)}{(1-1/q)} \quad (1)$$

$$verall\ Accuracy = \frac{\sum(Pix_i)}{n} \quad (2)$$

در روابط بالا K ضریب کاپا، OA صحت کلی، q پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی نشده‌اند،  $\sum(Pix_i)$  مجموع پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند، n تعداد کل پیکسل‌های آزمایشی است (Tempfli et al., 2009).

### نتایج و بحث

یک نمونه از نتایج پردازش تصاویر بر اساس طبقه‌بندی سه کلاس (گیاه، خاک لخت و سایه) با استفاده از الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی و در طول چهار مرحله مختلف رشد گیاه در شکل ۳ نشان داده شده است. ستون اول مربوط به تصاویر خام پهنادی و ستون‌های بعدی به ترتیب نتایج پردازش تصویر برای روش‌های مختلف SVM، MDC، MLC و MDM در یک نقطه از مزرعه است. همان‌طور که در شکل مشخص است، هرکدام از روش‌ها نتایج متفاوتی از طبقه‌بندی پیکسل‌های تصویر بر اساس نمونه‌های آموزشی یکسان، داشتند. در طبقه‌بندی تصاویر برای واسنجی پارامترهای ورودی از نمونه‌های آموزشی استفاده شد و صحت‌سنجی نتایج بر اساس معیارهای صحت کلی و ضریب کاپا مورد بررسی قرار گرفت. روش MDM بیشترین خطا را در تشخیص برگ گیاه داشته و بیشتر لبه‌های برگ را تشخیص داده است. از طرف دیگر روش‌های SVM و MLC بیشترین تطابق را با یکدیگر دارند در حالی که از نظر زمان پردازش، روش MLC بسیار سریع‌تر است. همان‌طور که در شکل مشخص است، افزایش پوشش سایه‌انداز با گذشت زمان پیشرفت مراحل رشد، فراوان است. اگرچه شکل سایه برگ بسیار شبیه به خود برگ است و تفکیک‌پذیری بر اساس شکل می‌تواند نتایج را دچار خطا کند ولی روش MDC توانسته است با دقت خوبی سایه برگ و خود برگ را تشخیص داده و تفکیک‌پذیری خوبی بین آن‌ها انجام داده است:

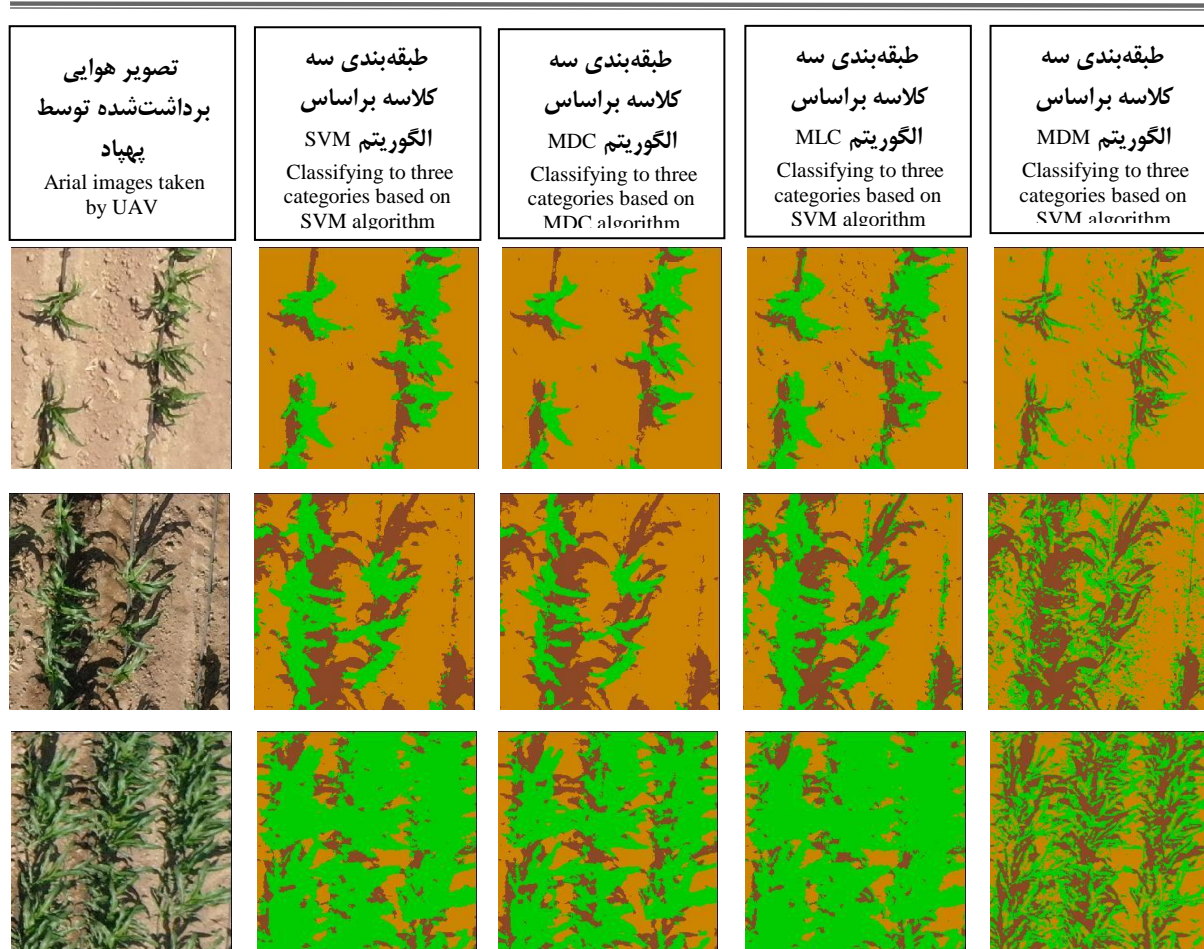
است و مبنای نظری آن به اندازه‌ی طبقه‌بندی حداکثر احتمال قوی نیست (Tso and Mather, 2009).

### روش طبقه‌بندی حداقل فاصله ماحالانوبیس از میانگین (Mahalanobis Distance) MDC (Classification)

این روش بسیار شبیه روش حداقل فاصله از میانگین است، با این تفاوت که به جای مقایسه فاصله اقلیدسی، فاصله ماحالانوبیسی هر پیکسل طبقه‌بندی نشده با پیکسل‌های میانگین مقایسه شده و سپس پیکسل مورد نظر به کلاسی اختصاص می‌یابد که کمترین فاصله را با میانگین دارد. برای استفاده از این روش نیز فرض نرمال بودن هیستوگرام باندها لازم است (Richards, 2012).

### ارزیابی دقت روش‌ها

در این تحقیق به منظور ارزیابی دقت استخراج کلاس‌های تعیین شده از جمله کسر پوشش گیاهی، دو شاخص صحت کلی و ضریب کاپا استفاده شد. ضریب کاپا به عنوان معیاری برای بیان دقت نتایج به دست آمده به کار می‌رود (رابطه ۱). در این ضریب برای هر ماتریس به کمک عناصر قطری و حاشیه‌ای محاسبه می‌شود و نشان‌دهنده آن است که طبقه‌بندی چقدر با داده‌های واقعی توافقی داشته است. میزان کلی توافقی برای هر ماتریس، بر پایه‌ی تفاوت بین توافقی عملی طبقه‌بندی (توافقی بین طبقه‌بندی رایانه‌ای و داده‌های واقعی) و توافقی زمینی که توسط عناصر قطری جدول نمایش داده می‌شوند) و توافقی شانسی (که از مقادیر فرعی پیکسل به دست می‌آید) محاسبه می‌گردد (محرمی و همکاران، ۱۴۰۳؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۹۷). صحت کلی نیز بیانگر میزان انطباق نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی با نمونه‌های واقعی زمینی است (رابطه ۲). در این تحقیق در مجموع برای سه کلاس گیاه، خاک لخت و سایه‌ها در تصویر تعداد ۳۸۴ نقطه واقعیت زمینی تعیین و برای محاسبه ضرایب بالا به نرم‌افزار معرفی شدند.



شکل ۳- مقایسه نتایج پردازش تصاویر هوایی با چهار الگوریتم مختلف طبقه‌بندی: SVM، MDC، MLC و MDM

شبهت یا عدم شبهت پیکسل‌های استفاده‌شده در مرحله آموزشی در جدول ۱ نشان داده شده است.

نتایج مربوط به آزمون تفکیک‌پذیری بر اساس معیار جفریز (طاهری دهکردی و همکاران، ۱۴۰۱) برای کلاس‌های تعریف‌شده در محیط نرم‌افزار ENVI 5.6 بر اساس میزان

جدول ۱- آزمون تفکیک‌پذیری Jeffries-Matusita برای سه کلاس تعیین‌شده گیاه، سایه‌ها و خاک لخت

	گیاه	سایه‌ها	خاک لخت
گیاه	.	(۱/۷۳۷-۱/۹۶۵)	(۱/۹۶۴-۱/۹۹۹)
سایه‌ها	(۱/۷۳۷-۱/۹۶۵)	.	(۱/۹۶۳-۱/۹۹۹)
خاک لخت	(۱/۹۶۴-۱/۹۹۹)	(۱/۹۶۳-۱/۹۹۹)	.

مقدار تفکیک‌پذیری بین کلاس‌های گیاه و خاک خشک با مقدار ۱/۹۶۴ بود. هرچه مقدار به‌دست‌آمده به عدد ۲ نزدیک‌تر باشد به معنای تفکیک‌پذیری بیشتر بین دو کلاس تعریف‌شده است. به

طبق نتایج به‌دست‌آمده، کمترین مقدار برای آزمون تفکیک‌پذیری بین دو کلاس گیاه و سایه‌ها با مقدار ۱/۷۳۷، سپس دو کلاس خاک لخت و سایه‌ها با مقدار ۱/۹۶۳ و بیشترین

کلی بالای ۹۰ درصد داشتند ولی روش MDC توانسته است با صحت کلی ۹۴/۵ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۲ بهترین عملکرد را داشته باشد. در این روش از مجموع ۳۸۴ نقطه واقعیت زمینی ۳۶۳ داده صحیح در هر سه کلاس تعیین شده که نشان دهنده دقت بالای نتایج است. اگرچه روش SVM نیز نتایج نزدیک و خوبی را داشته است ولی زمان پردازش تصویر در این روش بسیار بالاتر از روش MDC است. در پژوهشی که بیات و همکاران (۱۴۰۰) برای تهیه نقشه پراکنش صنوبرکاری‌ها با استفاده تصاویر ماهواره‌ای انجام دادند، نشان دادند به طور مشابه، روش SVM با صحت کلی ۹۶/۷ درصد برآورد خوبی از عرصه‌های صنوبرکاری را در استان زنجان داشت.

دلیل بزرگ‌تر بودن همه مقادیر به دست آمده در آزمون، در مقایسه با عدد یک، می‌توان مشاهده کرد بین هر سه کلاس تعیین شده، قابلیت تفکیک وجود دارد اگرچه تفکیک پذیری بین کلاس‌های گیاه و خاک خشک کمترین میزان خطا و بیشترین تفکیک پذیری را دارد. البته باید توجه داشت که مقادیر بیان شده برای هر نمونه متفاوت است و در اینجا نتایج یکی از نمونه‌ها گزارش شد.

نتایج ارزیابی دقت هر یک از روش‌های طبقه‌بندی بر اساس صحت کلی و ضریب کاپا در جدول ۲ و همچنین نتایج مربوط به دقت کاربر و دقت تولید، در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد کمترین میزان دقت در تفکیک کلاس‌ها و تعیین کسر پوشش گیاهی مربوط به روش MDM با صحت کلی ۷۳/۴ درصد و ضریب کاپا ۰/۶۱ است. اگرچه سه روش دیگر صحت

جدول ۲- نتایج به دست آمده برای دقت کل و ضریب کاپا برای هر یک از روش‌های طبقه‌بندی

	SVM	MDC	MLC	MDM
صحت کلی	(۳۶۱/۳۸۴) %۹۴/۰۱	(۳۶۳/۳۸۴) %۹۴/۵۳	(۳۵۱/۳۸۴) %۹۱/۴۱	(۲۸۲/۳۸۴) %۷۳/۴۴
ضریب کاپا	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۸۶	۰/۶۱

جدول ۳- نتایج به دست آمده برای دقت تولید و دقت کاربر برای هر یک از روش‌های طبقه‌بندی به تفکیک هر کلاس

	SVM		MDC		MLC		MDM	
	دقت تولید	دقت کاربر	دقت تولید	دقت کاربر	دقت تولید	دقت کاربر	دقت تولید	دقت کاربر
خاک لخت	۸۲/۸۶	۹۸/۸۶	۹۸/۱	۹۰/۳۵	۷۲/۳۸	۷۲/۳۸	۹۵/۲۴	۶۰/۶۱
سایه‌ها	۱۰۰	۹۰/۹۹	۹۵/۰۵	۹۱/۴۳	۹۹/۰۱	۹۹/۰۱	۹۹/۰۱	۷۵/۷۶
گیاه	۹۷/۱۹	۹۳/۵۱	۹۲/۱۳	۹۹/۳۹	۹۸/۳۱	۹۸/۳۱	۴۶/۰۷	۹۴/۲۵

خاک را تشخیص داده است. مقصودی و همکاران در سال ۱۳۹۷ طی تحقیقی نشان دادند روش طبقه‌بندی MLC برای پایش ریزگردها در منطقه جازموریان بسیار دقیق‌تر از روش‌های طبقه‌بندی نظارت نشده است (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۷).

برای پیکسل‌های خاک لخت روش MDC بهترین نتیجه را داشته است. دقت کاربر و دقت تولید پیکسل‌های خاک در این روش به ترتیب ۹۰/۳۵ و ۹۸/۱ درصد بوده است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت اگرچه به طور کلی روش MDC

مقایسه نتایج به دست آمده برای میزان دقت کاربر و دقت تولید نقشه طبقه‌بندی شده نشان می‌دهد روش MLC اگرچه از نظر صحت کلی و ضریب کاپا در رتبه سوم بین روش‌های مورد بررسی قرار می‌گیرد ولی در تشخیص پیکسل‌های برگ و سایه گیاه، بسیار دقیق بوده است. به طوری که دقت تولید کلاس برگ و سایه گیاه به ترتیب ۹۸/۳ و ۹۹/۰۱ درصد به دست آمد. این روش طبقه‌بندی کلاس خاک را به خوبی دو کلاس دیگر نتوانسته تفکیک کند و با دقت قابل قبول ۷۲ درصد پیکسل‌های

همین منظور با توجه به نتایج به دست آمده از مقایسه نقاط واقعیت زمینی و نقشه طبقه‌بندی به دست آمده برای تمام روش‌ها، الگوریتم MDC به عنوان بهترین روش، تعیین شد. پس از تعیین مناسب‌ترین روش طبقه‌بندی، برای مقایسه میزان خطای سایر روش‌ها، ۲۰ قاب (نمونه) مختلف تصویر در کل مزرعه مشخص شد و در چهار مرحله رشد گیاه، مقادیر کسر پوشش گیاهی محاسبه و مقایسه گردید. (شکل ۴).

بهترین نتایج را به دست آورده است. ولی برای رسیدن به دقت بالاتر می‌توان از این روش برای جداسازی خاک که بیشترین دقت را دارد، استفاده کرد. سپس روش MLC را برای تشخیص برگ و سایه گیاه به کار گرفت. در این صورت می‌توان انتظار داشت، به صحت کلی بالاتری در طبقه‌بندی مزرعه به سه کلاس تعیین شده، رسید. با توجه به اینکه در پژوهش هدف اصلی مقایسه روش‌های مختلف در تخمین کسر پوشش گیاهی بود، به



شکل ۴ - روند تغییرات کسر پوشش گیاهی در طول دوره رشد ذرت برای روش‌های مختلف طبقه‌بندی

برآورد کرده است و روش MDM کمترین میزان کسر پوشش گیاهی را به دست آورد. همچنین مقایسه شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R-Squar) و مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) بین روش MLC به عنوان روش برتر در تعیین پیکسل‌های برگ و سایه گیاه با روش‌های SVM، MDC و MDM به ترتیب ۹۸ و ۱۶/۷ درصد، ۹۷ و ۴۹ درصد، ۸۳ و ۵۴ درصد به دست آمد. طبق نتایج به دست آمده بر اساس رابطه بین

همان‌طور که در شکل مشخص است روند تغییرات کسر پوشش گیاهی در سه روش SVM، MDC و MLC بسیار شبیه به هم هستند. ولی روش MDM نوسان زیادی در تخمین پارامتر مورد نظر داشت. به‌طور کلی دو روش SVM و MLC نسبت به روش MDC بیش برآورد داشتند. همچنین مشاهده می‌گردد که روش MLC در بیشتر نقاط در طول دوره رشد گیاه نسبت به سایر روش‌ها، مقادیر کسر پوشش گیاهی را بیشتر

تصویربرداری از مزرعه، در تمام طول دوره رشد گیاه، این امکان را برای محققین و مدیران مزرعه فراهم می‌آورد تا با مقایسه‌ی روند رشد گیاه با نمودارهای تیپ موجود (و تحلیل تغییرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه) ارزیابی مناسبی از وضعیت فعلی مزرعه داشته باشند و در صورت وجود تنش‌های محیطی قبل از بروز خسارت و کاهش محصول نسبت شناسایی مشکل و رفع آن اقدام نمایند.

### سپاسگزاری

از جناب آقای مهندس حسین‌خانی مالک محترم مجموعه مزارع و گلخانه دشت امید و همکاران گرامی‌شان که امکان حضور و شرایط تصویربرداری در مزرعه را فراهم کردند، قدردانی می‌شود. همچنین از گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) که تجهیزات لازم برای تصویربرداری با پهپاد را فراهم آوردند، تشکر می‌کند.

### منابع

- آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱، معاونت آمار مرکز آمار، فناوری اطلاعات و ارتباطات، شهریور ۱۴۰۳
- اسدی، ب.، شمس‌الدینی، ع. ۱۴۰۳. تفکیک محصولات زراعی با استفاده از ترکیب تصاویر سنتینل-۱ و ۲ در استان اردبیل. نشریه سنجش از دور و GIS ایران. ۱۶ (۳): ۲۵-۴۶. doi: 10.48308/gisj.2023.103095
- برازمند، س.، سوسنی، ج.، نقوی، ح. و صادقیان، س. ۱۳۹۸. قابلیت تصاویر پهپاد در تشخیص گونه‌های بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) و دارمازو (*Quercus infectoria* Oliv). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. ۲۷ (۳): ۲۵۷-۲۴۵. doi: 10.22092/ijfpr.2019.120630
- بیات، م.، میرآخرو، خ.، صادق زاده، ح. و حیدری مستعلی، س. ۱۴۰۱. تهیه و صحت‌سنجی نقشه پراکنش صنوبرکاری‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و داده‌های زمینی در استان زنجان. نشریه سنجش از دور و GIS ایران. ۱۴ (۳): ۱۴-۱۱. doi: 10.52547/gisj.14.3.1

روش‌های MLC و SVM خطی و خوب ارزیابی شد ولی با توجه به مقادیر NRMSE رابطه بین MLC و دو روش دیگر، خطی و غیرقابل قبول بود. رعیتی شوازی و همکاران ۱۳۹۶، در پژوهشی، کارایی سه الگوریتم بندی نظارت‌شده MLC، MDC و MDM را برای طبقه‌بندی لندفرم‌های دشت یزد-اردکان بررسی کردند و به‌طور مشابه نشان دادند روش حداکثر شباهت نسبت به دو روش دیگر عملکرد بهتری داشت. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، نتایج به‌دست‌آمده برای بهترین روش طبقه‌بندی تصویر، به‌صورت عددی و برحسب درصد در طول دوره تصویربرداری از گیاه است که می‌تواند به‌صورت مستقیم در مدل‌های گیاهی مانند نرم‌افزار AquaCrop یا سایر نرم‌افزارها مورد استفاده قرار گیرد.

### نتیجه‌گیری

تصاویر پهپادی به‌عنوان داده‌های ارزشمند روزآمد، امکان بررسی و اصلاح مدیریت مزرعه را به‌منظور بهبود شرایط محیط گیاه و افزایش بهره‌وری در حوزه‌های مختلف کشاورزی فراهم می‌آورد. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد، ابزارهای پردازش تصویر از جمله الگوریتم‌های طبقه‌بندی، توانایی تشخیص و تفکیک اجزای تصویر را با دقت بالایی دارا هستند؛ بنابراین می‌توان از این امکان برای تحلیل تصاویر هوایی و برآورد شاخص‌های گیاهی در سطح وسیع استفاده کرد. با توجه به در دسترس بودن و هزینه‌های پایین تعیین شاخص‌های گیاهی به کمک ابزارهای پردازش تصویر در مقایسه با روش‌های نمونه‌برداری زمینی که در بیشتر مواقع باعث آسیب به گیاه می‌شوند، به‌کارگیری پهپادها و ثبت تصاویر پهپاد از شرایط رشد گیاه، امکان تشخیص زودهنگام تنش‌های محیطی را برای مدیر مزرعه فراهم می‌آورد. در بین روش‌های طبقه‌بندی موردبررسی در این پژوهش، روش طبقه‌بندی نظارت‌شده بر اساس حداقل فاصله ماکسیمی از میانگین MDC بهترین نتایج را به دست آورد و در صورت تولید داده‌های آموزشی خوب به مدل، می‌توان با دقت بالایی کسر پوشش گیاهی را با استفاده از این روش برآورد کرد. تعیین روش مناسب در برآورد کسر پوشش گیاهی و

کاپا در پایش تغییرات پوشش سرزمین سواحل استان بوشهر (دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۳۶۷). اقیانوس‌شناسی. ۳ (۱۲): ۶۳-۷۵

طاهری دهکردی، ع.، ولدان زوج، م.ج. و صفدری نژاد، ع. ۱۴۰۱. تهیه نقشه اراضی کشاورزی با استفاده از تلفیق روش‌های قطعه‌بندی و طبقه‌بندی در گوگل ارث انجین. نشریه سنجش از دور و GIS ایران. ۱۴ (۱): ۲۰-۱. doi: 10.52547/gisj.14.1.1

مافی، م.، عزیز، ز.، کریمی، پ. و عالمی صف اول، پ. ۱۴۰۰. بررسی روند تغییرات سطح آب تالاب یعقوب‌آباد با استفاده از تصاویر چند زمانه. اکوهیدرولوژی. ۸ (۲): ۳۲۹-۳۲۱. doi: 10.22059/ije.2021.311887.1397

محرمی، م.، عطارچی، س.، گلاگوئن، ر. و علوی پناه، س.ک. ۱۴۰۳. پایش تغییرات پوشش زمین در شمال غرب ایران با استفاده از روش انتقال نمونه‌های آموزشی. نشریه سنجش از دور و GIS ایران. ۱۶ (۱): ۱۵۴-۱۲۹. doi: 10.48308/gisj.2024.233836.1188

مقصودی، م.، گنجائیان، ح. و حسینی، س.ج. ۱۳۹۷. ارزیابی کارایی روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده و نظارت‌نشده در پایش ریگزارها (مطالعه‌ی موردی: ریگ جازموریان). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. ۹ (۳۲): ۸۱-۹۲

میرکی، م.، سهرابی، ه. و فاتحی، پ. ۱۴۰۱. آشکارسازی درختان پرتقال و تشخیص تنش گیاهی بر اساس داده‌های طیفی اخذ شده از پهپاد. پژوهش در علوم باغبانی. ۱۱ (۱): ۲۷-۴۰. doi: 10.22092/rhsj.2022.127815

Dente, L., Satalino, G., Mattia, F. and Rinaldi, M. 2008. Assimilation of leaf area index derived from ASAR and MERIS data into CERES-Wheat model to map wheat yield. Remote sensing of Environment. 112(4):1395-1407

Fang, H., Liang, S., Hoogenboom, G., Teasdale, J. and Cavigelli, M. 2008. Corn-yield estimation through assimilation of remotely sensed data into the CSM-CERES-Maize model. International Journal of Remote Sensing. 29(10): 3011-3032.

Maes, W. H. and Steppe, K. 2019. Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. Trends in plant science.

تراهی، ع.ا.، فیروزی‌نژاد، م. و عبدالخانی، ع. ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال در تهیه نقشه کاربری اراضی جنگل‌های رودخانه‌ای با استفاده از سنجده (OLI منطقه مورد مطالعه: جنگل‌های رودخانه‌ای مارون بهبهان). نشریه سنجش از دور و GIS ایران. ۹ (۱): ۶۲-۴۹.

خلیلی، ز.، فلاح، ا. و شتایی، ش. ۱۴۰۲. تهیه نقشه روشن‌تاجی در جنگل‌کاری‌های سوزنی‌برگان با استفاده از تصاویر پهپادی (مطالعه موردی: منطقه عرب داغ گلستان) بوم‌شناسی جنگل‌های ایران. ۱۱ (۲۱): ۳۹-۲۴. ۱۱،۲۱،۲۴/ifej.۱۰۶۱۱۸۶

خدمت زاده، ع.، موسوی، م.ن. و محمدی ترکمانی، ح. ۱۳۹۹. تحلیلی بر تغییرات و پیش‌بینی روند کاربری اراضی شهر ارومیه با استفاده از مدل SVM و شبکه‌های عصبی. نشریه سنجش از دور و GIS ایران. ۱۲ (۴): ۷۲-۵۳. doi: 10.52547/gisj.12.4.53

رعیتی شوازی، م.، کرم، ا.، غفاریان مالگیری، ح.ر. و سپهر، ع. ۱۳۹۷. مقایسه کارایی برخی الگوریتم‌های طبقه‌بندی در مطالعه تغییرات لندفرم‌های بیابانی دشت یزد- اردکان. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ۶ (۱): ۷۳-۵۷.

سلطانی، م. ۱۴۰۳. برآورد درصد پوشش گیاهی ذرت با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر. نشریه مدیریت آب و آبیاری. ۱۴ (۱): ۱۱۱-۱۲۲. DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2023.364331.1098

کارگر، م.ر.، بابایی، ی. و بنیاد، ا. ۱۴۰۰. ارزیابی دقت داده‌های پهپاد در برآورد میزان خشکیدگی درختان شمشاد (مطالعه موردی: پارک جنگلی سیسنگان - استان مازندران). نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۱۲ (۲): ۹۷-۱۰۹.

http://dori.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.2.6.9  
گوینده نجف آبادی، م.، میرلطیفی، س.م. و اکبری، م. ۱۳۹۷.

برآورد شاخص سطح برگ ذرت با استفاده دوربین دیجیتال اصلاح‌شده. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۲ (۶): ۱۳۹۶-۱۴۰۶

غلامعلی‌فرد، م.، جورابیان شوشتری، ش.، حسینی کهنوج، ح.، بالی، ع.، دلشوب، ح. و معین، ح. ۱۳۹۱. کاربرد نمایه توافق

- and Woldai, T. 2009. Principles of remote sensing: an introductory textbook. (ITC Educational Textbook Series. Vol. 2). International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- Tso, B, and Mather, P. M. 2009. Classification Methods for Remotely Sensed Data, 2nd edition, Taylor and Francis Pub, America. 376 p.
- Vapnik, V.N. 1995, the natural of statistical learning theory, New York: Springer Verlag.
- 24(2): 152-164. doi: 10.1016/j.tplants.2018.11.007.
- Richards, J. A. 2012. Remote sensing digital image analysis: An introduction, 5<sup>th</sup> Edition, Spronger, Germany: Berlin Heidelberg, pp 247-318.
- Stocker, A.D. and Schaum, A.P. 1997. Application of stochastic mixing models to hyperspectral detection problems. In: AeroSense'97, International Society for Optics and Photonics, pp 47-60
- Tempfli, K., Huurneman, G. C., Bakker, W. H., Janssen, L. L. F., Feringa, W. F., Gieske, A. S. M., Grabmaier, K. A., Hecker, C. A., Horn, J. A., Kerle, N., van der Meer, F. D., Parodi, G. N., Pohl, C., Reeves, C. V., van Ruitenbeek, F. J. A., Schetselaar, E. M., Weir, M. J. C., Westinga, E.

## Comparison Various Classification Algorithms of UAV Imagery for Estimating Maize Canopy Cover Percentage

M. Soltani<sup>1\*</sup>

### Abstract

Recent advances in technology and their widespread development have enabled the generation of valuable data for experts in various fields, including agriculture, in order to increase productivity and producing high-quality crops. Capturing aerial images using unmanned aerial vehicles (UAVs), combined with image processing algorithms, allows farmers to access accurate and timely analysis of crop conditions. In this research, UAV imagery was used to estimate the maize canopy cover fraction index. Four different supervised classification algorithms were evaluated: Support Vector Machine (SVM), Minimum Distance from the Mean (MDM), Minimum Mahalanobis Distance from the Mean (MDC) and Maximum Likelihood Classification (MLC) was evaluated. The results showed that the MDM method had the lowest performance in class separation and canopy cover estimation, with an overall accuracy of 73.4% and a kappa coefficient of 0.61. Although the other three methods achieved an overall accuracy above 90%, the MDC method outperformed the others, with an overall accuracy of 94.5% and a Kappa coefficient of 0.92. While the SVM method also yielded promising and comparable results, it required significantly more processing time than the MDC method. The results showed that although the MLC method ranked third in terms of overall accuracy and kappa coefficient, it demonstrated exceptional performance in detecting leaf and plant shadow pixels, achieving the highest class accuracies for leaf and shadow detection at 98.3% and 99.01%, respectively. Overall, it can be concluded that supervised classification algorithms offer reliable approaches for estimating plant indices with optimal accuracy. Their application is recommended for both large-scale field research and practical farm-level analyses.

**Keywords:** Supervised Classification, MDC, MLC, MDM, SVM

---

<sup>1</sup> Assistant Prof. Department of Water Sci. and Eng., Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran (\*Corresponding Author Email: msoltani@eng.ikiu.ac.ir)

Received: 18 Sep 2024

Accepted: 25 Nov 2024