



Estimating maize canopy cover percent by means of image processing algorithms

Masoud Soltani 

Corresponding Author, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: msoltani@eng.ikiu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 25 August 2023

Received in revised form

29 October 2023

Accepted 7 November 2023

Published online 14 March 2024

Keywords:

Classification

Excess Green index

Mahalanobis Distance

Thresholding

ABSTRACT

The progress of science and using remote sensing technologies could help farmers to find valuable information from field such as crop health, determining of the area and type of cultivation, calculating crop growth rate and various indices. Canopy cover percent is one of the vital parameters for modeling and prediction of yield production. Field observation methods of estimating CCP are expensive and time consuming. Using drones for arial imaging at field scale and image processing algorithm to estimate CCP are fast and accurate. At this study, 441 arial photos was taken at height of 30 m above ground surface via DJI drone (Mavic 2 pro) for estimating maize CCP. The field was located at Alvand city-Qazvin province. Two different methods of segmentation and classification were used for assessing CCP. Region of interest separability test and linear regression between calculated data were used for result evaluation. Results showed that, although the accuracy of both methods was high, on average the segmentation methods obtained CCP 10 percent lower than classification algorithm. Also, the high R-square coefficient of 97% between the data showed that the accuracy of methods based on image processing, such as segmentation, is lower than classification methods, but in case of lack of access to the required software, that are based on artificial intelligence methods, it is easy to achieve a favorable result by implementing programming codes based on segmentation methods in high-level and open-source languages, including Python.

Cite this article: Soltani, M. (2024). Estimating maize canopy cover percent by means of image processing algorithms. *Journal of Water and Irrigation Management*, 14 (1), 111-122. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.364331.1098>



© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.364331.1098>



بر آورد درصد پوشش گیاهی ذرت با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر

مسعود سلطانی ✉

گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه: msoltani@eng.ikiu.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۴

پیشرفت علم و استفاده از فناوری‌های سنجش از دور، امکان پایش سلامت، بررسی وضعیت گیاه، تعیین سطح و نوع کشت، محاسبه سرعت رشد و شاخص‌های گیاهی و سایر اطلاعات ارزشمند از مزرعه و باغ را برای کشاورز فراهم آورده است. درصد پوشش گیاهی یکی از پارامترهای مهم در مدل‌های گیاهی برای تخمین عملکرد گیاه و وضعیت رشد آن محسوب می‌شود. روش‌های تعیین درصد پوشش گیاهی براساس داده‌های مشاهداتی زمینی، گران و زمان‌بر هستند. استفاده از پهپاد برای تصویربرداری هوایی و به‌کارگیری روش‌های مبتنی بر پردازش تصویر، می‌تواند پارامترهای موردنظر را در کل سطح مزرعه و با سرعت و دقت بالا به‌دست آورد. در این پژوهش برای تعیین درصد پوشش گیاهی ذرت، تعداد ۴۴۱ تصویر هوایی در ارتفاع ۳۰ متری از سطح زمین با استفاده از پهپاد شرکت DJI، مدل Mavic 2 pro در یکی از مزارع ذرت شهرستان الوند در استان قزوین، برداشت شد. از دو روش جداسازی و طبقه‌بندی به‌طور جدا برای تعیین مقدار درصد پوشش گیاهی استفاده شد. آزمون تفکیک‌پذیری و ضریب همبستگی بین داده‌های محاسباتی، تعیین و موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد اگرچه دقت هر دو روش بالا بود، اما به‌طور میانگین روش جداسازی مقدار درصد پوشش گیاهی را ۱۰ درصد کم‌تر از الگوریتم طبقه‌بندی به‌دست آورد. هم‌چنین ضریب همبستگی بالای ۹۷ درصد بین داده‌ها نشان داد دقت روش‌های بر مبنای پردازش تصویر مانند جداسازی پایین‌تر از روش‌های طبقه‌بندی است اما در صورت عدم دسترسی به نرم‌افزارهای موردنیاز که امکان تجزیه و تحلیل بر مبنای روش‌های هوش مصنوعی را دارند، می‌توان به‌راحتی با اجرای کدهای برنامه‌نویسی مبتنی بر روش‌های جداسازی در زبان‌های سطح بالا و متن باز از جمله زبان پایتون به نتیجه مطلوبی رسید.

کلیدواژه‌ها:

آستانه‌گذاری

شاخص سبزیگی مازاد

طبقه‌بندی

فاصله ماهالانویس

استناد: سلطانی، مسعود (۱۴۰۳). بر آورد 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>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

پیشرفت تکنولوژی و به‌کارگیری تجهیزات به‌روز، در تمام علوم و به‌ویژه در کشاورزی می‌تواند به بهبود و افزایش بهره‌وری و تولیدات کمک کند. پایش سلامت گیاه و تعیین زودهنگام تنش‌های محیطی با بررسی علائم قابل‌مشاهده تغییرات ظاهری گیاه در پاسخ به وجود تنش، نیازمند به‌کارگیری فناوری‌هایی نظیر پردازش تصویر و متخصصان علم کشاورزی و آسیب‌شناسان گیاهی دارد (Ghosal et al., 2018). یکی از روش‌های کارآمد در این زمینه پردازش تصویر است که می‌تواند در حوزه‌های مختلف کشاورزی از جمله کلاس‌بندی زمین‌ها، تعیین بهترین نوع کشت براساس منابع آب در دسترس و نوع خاک، تشخیص علف هرز و بیماری گیاه، ایجاد سیستم‌های هوشمند آبیاری براساس نیاز گیاه، تعیین پوشش گیاهی و سرعت رشد گیاه، تعیین نوع کشت محصول و موضوعات بسیار دیگری کاربرد داشته باشد (An et al., 2019; Kisalaei et al., 2014; Noda et al., 2006; Poonguzhali & Vijayabhanu, 2019; Saxena & Armstrong, 2014).

پردازش تصویر یک ابزار قابل‌اطمینان، در دسترس، مقرون‌به‌صرفه و به‌هنگام در زمینه کشاورزی مدرن به حساب می‌رود که می‌تواند با بررسی روند رشد گیاه در تمام طول دوره رشد، در راستای افزایش محصول و کاهش هزینه‌ها به کار گرفته شود (Story & Kacira, 2015).

درصد پوشش گیاهی^۱ یکی از پارامترهای مهم در مدل‌های گیاهی است که تعیین و بررسی آن در طول دوره رشد گیاه به‌عنوان یک معیار ارزشمند و قابل‌اطمینان محسوب می‌گردد. درصد پوشش گیاهی در زراعت می‌تواند معیاری برای پایش سلامت گیاه، تعیین مقدار زیست‌توده، بررسی وضعیت مواد مغذی گیاه و همچنین سرعت رشد گیاه باشد. مقایسه درصد پوشش گیاهی در مراحل مختلف رشد با مقادیر استاندارد و گزارش شده می‌تواند معیاری برای تخمین عملکرد نهایی محصول و پیش‌بینی میزان تولید باشد. درصد پوشش گیاهی از تقسیم پیکسل‌های پوشش گیاهی به کل پیکسل‌های تصویر به‌دست می‌آید. یکی از مزایای درصد پوشش گیاهی نسبت به سایر روش‌های اندازه‌گیری رشد گیاه، مانند شاخص سطح برگ^۲، این است که با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های تصاویر دیجیتال (مرئی) قابل‌برآورد است (Coy et al., 2016; Lee & Lee, 2011).

الگوریتم‌های مختلف جداسازی^۳ و طبقه‌بندی^۴ در پردازش تصویر کاربرد فراوانی در کشاورزی دقیق دارند. در روش‌های جداسازی می‌توان بین پوشش گیاهی و سایر اجزای تصویر تمییز قائل شد. درحالی‌که در روش‌های طبقه‌بندی هر یک از اجزای تصویر در یک کلاس قرار می‌گیرند و می‌توان پیکسل‌های پوشش گیاهی، سایه‌انداز گیاه، خاک و علف هرز را هر یک به‌طور جداگانه موردبررسی قرار داد. همچنین هر یک از الگوریتم‌های جداسازی و طبقه‌بندی می‌تواند برای جداسازی پوشش گیاهی در کنترل شرایط رشد گیاه، نظیر شناسایی بیماری برگ‌ها، نظارت وضعیت مواد مغذی موردنیاز گیاه و کنترل تنش‌های گیاهی مثل تنش خشکی، تنش کود و تنش علف هرز، کاربرد داشته باشد (Coy et al., 2016; Haddadi et al., 2022; Kazmi et al., 2015; Thailambal and Yogeshwari, 2020).

طبقه‌بندی در پردازش تصاویر برای تفکیک و تشخیص عوارض استفاده می‌شود که براساس نوع داده‌ها، توزیع آماری هرکدام از دسته‌ها، دقت موردنیاز برای تعیین هدف، سهولت استفاده، سرعت و مقایسه‌پذیری، یکی از دو نوع طبقه‌بندی نظارت‌نشده و یا نظارت‌شده کاربرد خواهد شد. در روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده، الگوریتم‌هایی برای کلاس‌بندی عوارض براساس شباهت و ویژگی‌هایشان بدون دخالت و تصمیم‌گیری انسان وجود دارد. با وجود سهولت و جذابیت‌های این نوع طبقه‌بندی به‌دلیل خودکاربودن آن، زمانی که حجم داده‌ها زیاد باشد این فرایند طولانی خواهد بود (Chen and Gong, 2013) و دقت موردنظر را نخواهد داشت. درحالی‌که در روش طبقه‌بندی نظارت‌شده می‌توان با معرفی چندین نمونه

آموزشی دقیق به الگوریتم مورداستفاده، دقت نتایج را به طور چشم گیری افزایش داد. کیفیت خوب نمونه ها و هم چنین تعداد کافی آن ها تأثیر زیادی در دقت دسته بندی خواهد داشت (Bruzzone and Demir, 2014; Shao and Lunetta, 2012; Pal and Mather 2006).

پهپاد یا پرند ه هدایت پذیر از راه دور یکی از ابزارهایی است که با در دسترس قرار گرفتن آن ها به صورت همگانی، امکان تصویربرداری به هنگام از مزرعه و تجزیه و تحلیل وضعیت سلامت گیاه را به صورت دقیق، سریع و مقرون به صرفه برای پژوهش گر یا زارع فراهم می آورد. پهپادهای مرسوم مورداستفاده در کشور که محصول شرکت DJI می باشند، دارای دوربین های با کیفیت بالا برای تصویربرداری در محدوده طیف های مرئی هستند. هم چنین قابلیت تجهیز با حس گرهای دیگر از جمله مادون قرمز، چندطیفی و فراطیفی را دارند.

پهپادها به دلیل ارتفاع پرواز قابل کنترل برای پایش مزرعه بسیار مناسب هستند. با توجه به ارتفاع پروازی پهپاد، امکان تصویربرداری با قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا (اندازه پیکسل های موجود در تصاویر تا حد زیادی کاهش می یابد و به یک جزء از چندین جزء موجود در یک پیکسل می رسد که در ارائه نتایج بسیار دقیق تر و مناسب تر خواهد بود، (Sankarasrinivasan et al., 2015) و هم چنین تصویربرداری به هنگام (به عبارت دیگر قدرت تفکیک زمانی بسیار بالا)، قابلیت بررسی سریع و دقیق هرگونه پارامتر موردنظر را در سطح مزرعه فراهم خواهد آورد. از جمله محدودیت های آن ها می تواند به طول مدت پرواز کم و مصرف بالای باتری های دستگاه اشاره کرد. با توجه به اهمیت بالای برآورد و بررسی کسر پوشش گیاهی، در این پژوهش سعی شده است روش های غیرتخریبی برآورد این شاخص گیاهی که مبتنی بر الگوریتم های پردازش تصویر هستند، مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲. مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه، اراضی کشاورزی شهرک صنعتی البرز در استان قزوین بود. شهر صنعتی البرز در کنار شهر الوند واقع شده است. شهر الوند دومین شهر بزرگ استان قزوین است که در ۱۴ کیلومتری جنوب شرقی شهر قزوین واقع شده است. شهرک صنعتی البرز بین ۵۰ درجه و ۰۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۰۵ دقیقه طول شرقی از نصف النهار 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 می باشد. دمای میانگین سالانه ۱۲/۲ درجه سانتی گراد و میانگین بارش سالانه ۳۲۰ میلی متر و متوسط تبخیر سالانه ۲۲۰۰ میلی متر بوده و بنا بر طبقه بندی دوما رتن منطقه دارای اقلیم نیمه خشک و سرد است. براساس داده های وزارت جهاد کشاورزی (۲۰۱۵)، گیاه ذرت، دومین گیاه اصلی این استان است که ۲۸ درصد از زمین های تحت آبیاری استان را اشغال کرده و محصول سالانه آن یک میلیون و ۵ هزار و ۹۸ تن تخمین زده شده است.

برای بررسی درصد پوشش گیاهی، مزرعه 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 دو پرو شرکت DJI، مجهز به حس گر 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 سانتی متر انتخاب گردید. ارتفاع پروازی در طول تصویربرداری ثابت و برای تولید تصویر اورثوموآزبیک از کل ۲/۵ هکتار، همپوشانی طولی و عرضی بالای ۷۰ درصد انتخاب گردید. پس از تصویربرداری ابتدا به کمک نرم افزار Agisoft یک تصویر کلی و عمودی از کل مزرعه تولید شد. سپس چند قسمت به عنوان نمونه برای پردازش تصویر و تعیین درصد پوشش گیاهی تعیین گردید (شکل های ۱ و ۲).

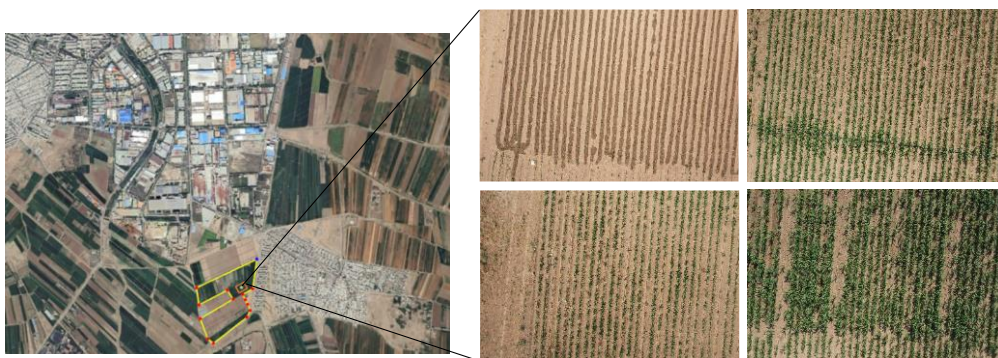


Figure 1. Field research location, unit that used for training samples gathering via drone- imaging height at 30 m asl⁵

برای این منظور از نرم‌افزار ENVI-V5.6⁶ استفاده گردید. الگوریتم مورد استفاده برای تعیین درصد پوشش گیاهی، روش طبقه‌بندی نظارت‌شده MahDC⁷ یا طبقه‌بندی براساس حداقل فاصله ماکسیمی (Mahalanobis) بود. در این روش ابتدا لازم است برای هر یک از کلاس‌های مورد نظر، تعدادی نمونه به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی به مدل تهیه گردد. برای تهیه نمونه‌های تعلیمی که به‌عنوان منطقه مورد نظر یا ROI⁸ به‌صورت فایل رستری به نرم‌افزار معرفی می‌گردد، می‌توان نمونه‌برداری زمینی انجام داد. در این پژوهش با توجه به قدرت تفکیک مکانی بسیار بالای تصاویر، با استفاده از ابزارهای در دسترس در نرم‌افزار برای هر یک از کلاس‌های مورد نظر در تصاویر، پلی‌گون‌هایی تهیه شد و برای پردازش نهایی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به این‌که ارتفاع پروازی ۳۰ متر بود، تصاویر تقریباً یکنواخت و بدون اشیا اضافی بودند. اندازه پیکسل‌های تصویر ۰/۷ سانتی‌متر و از نوع RGB، هشت بیتی بودند. سه کلاس خاک، گیاه و سایه به‌عنوان ورودی به مدل در نظر گرفته شد. تعداد کلاس‌ها براساس وجود یا عدم وجود گونه‌های مختلف اشیا در تصویر قابل‌تعریف می‌باشد. به‌طور مثال، اگر عوارض زمینی مانند کانال آبیاری، جاده و یا استخر ذخیره آب در تصاویر وجود داشته باشد، لازم است برای هر کدام از آن‌ها یک کلاس مجزا در نظر گرفته شود. افزایش تعداد کلاس‌ها لزوماً به معنای افزایش دقت در نتیجه نهایی نخواهد بود بلکه تغییرات طیفی در پیکسل‌های تصویر می‌تواند نتیجه مطلوب را فراهم آورد. در این پژوهش ارتفاع پروازی طوری تعیین گردید که اشیا و یا عوارض زمینی در فریم‌های تصویر وجود نداشته باشد و یا بسیار محدود باشد. تعداد کافی نمونه‌های تعلیمی و یکنواختی پراکندگی آن‌ها در تمام تصویر، باعث افزایش دقت و رسیدن به نتیجه مطلوب خواهد شد. اگرچه تعداد مشخصی به‌عنوان استاندارد برای تعداد نمونه‌های تعلیمی وجود ندارد (زیرا پیچیدگی‌های تصاویر و همچنین میزان اطلاعات داخل هر پیکسل در تصاویر مختلف، متفاوت است)، اما به روش سعی و خطا می‌توان تعداد حداقل برای نمونه‌های تعلیمی به‌دست آورد، به‌طوری‌که با افزایش تعداد آن‌ها دقت نتایج بیش‌تر نخواهد شد اما زمان پردازش به‌شدت افزایش پیدا خواهد کرد (Radoux *et al.*, 2014). در این پژوهش برای هر یک از کلاس‌های عنوان‌شده بسته به مرحله رشد گیاه، بین ۲۰ تا ۵۰ نمونه تعلیمی تهیه شد. اگرچه در روش طبقه‌بندی ماکسیمی، شکل نمونه‌های تعلیمی مورد توجه قرار نمی‌گیرد و مقادیر پیکسل‌ها از نظر آماری مهم هستند اما در نمونه‌برداری سعی شد مرزهای بین برگ گیاه و سایه‌انداز آن با دقت بالایی مشخص باشد تا نتیجه نهایی با کیفیت بیش‌تری به‌دست آید.

در روش MahDC یا طبقه‌بندی حداقل فاصله ماکسیمی از میانگین، ابتدا مقادیر میانگین طیفی هر باند، با مشخص شدن پیکسلی که میانگین ارزش طیفی نمونه‌های تعلیمی هر طبقه را به خود اختصاص داده، محاسبه می‌شود. در مرحله بعدی فاصله ماکسیمی هر پیکسل طبقه‌بندی‌نشده با پیکسل‌های میانگین مقایسه شده و سپس پیکسل مورد نظر به کلاسی اختصاص می‌یابد که کم‌ترین فاصله را با میانگین دارد (شکل ۲). انجام این روش با فرض نرمال بودن هیستوگرام باندها و در محیط نرم‌افزار ENVI صورت پذیرفت.

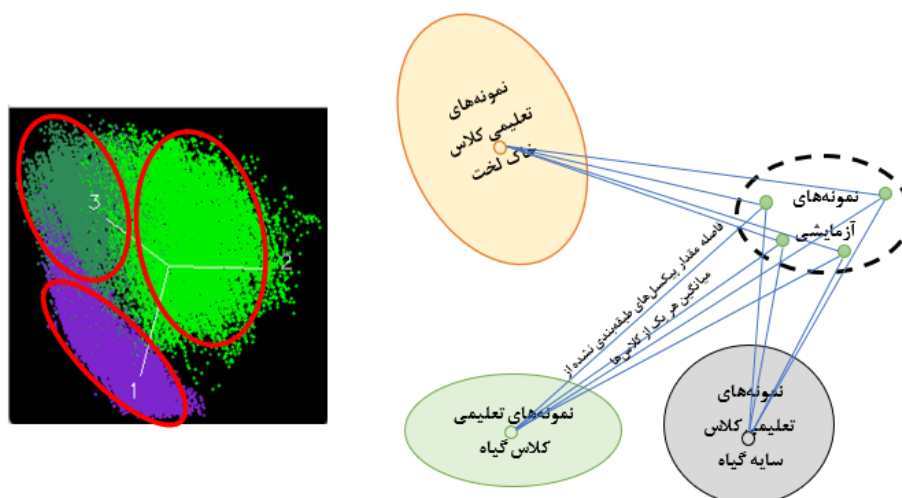


Figure 2. Schematic diagram of minimum distance to mean classification for three defined classes

پس از طبقه‌بندی هر یک از تصاویر و تعیین پیکسل‌های مربوط به برگ و ساقه گیاه، با شمارش تعداد کل پیکسل‌های مربوط به کلاس گیاه و تقسیم آن به تعداد کل پیکسل‌های تصویر، درصد پوشش گیاهی تعیین شد. محاسبه پارامتر درصد پوشش گیاهی در طول دوره رشد گیاه، امکان بررسی سرعت رشد گیاه و مقایسه آن با نمودارهای تیپ در این زمینه و امکان بررسی وضعیت سلامت گیاه را فراهم می‌آورد. شاخص درصد پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از عوامل یا ورودی‌های مهم در مدل‌های گیاهی مطرح است که از این طریق می‌توان به تعیین آن با سرعت و دقت بالا و هزینه کم اقدام نمود. همچنین امکان استفاده از این شاخص در مدل‌های تخمین عملکرد گیاه و توابع تولید وجود دارد. بنابراین، می‌توان با پایش درصد پوشش گیاهی در مراحل ابتدایی یا میانی رشد گیاه، برآورد قابل‌قبولی از عملکرد نهایی محصول داشت.

یکی از روش‌های کلاسیک تعیین درصد پوشش گیاهی، الگوریتم‌های جداسازی تصاویر دیجیتال، به‌عنوان بخشی از پردازش تصویر در کشاورزی دقیق است. جداسازی اساساً به معنای تفکیک پوشش گیاهی از پس‌زمینه و حذف پیکسل‌های پس‌زمینه می‌باشد. شاخص گیاهی به‌کاررفته در این پژوهش، بر پایه روابط جبری حاکم بر باندهای طیفی قرمز، سبز و آبی از طول موج مرئی بود. شاخص گیاهی باند سبز مزاد (ExG) نخستین بار توسط *Woebbecke et al.* (1995) ارائه شد که تفاضل باند سبز با ضریب دو را با سایر باندهای رنگی حساب می‌کند. رابطه (۱)، شاخص ExG را نشان می‌دهد. در این رابطه R، G و B به‌ترتیب بازتاب هر یک از باندهای قرمز، سبز و آبی می‌باشد.

$$\text{ExG} = 2G - R - B \quad \text{رابطه (۱)}$$

شاخص ExG با تبدیل تصویر رنگی سه‌باند به تصویر خاکستری تک‌باند، تضاد واضحی بین پوشش گیاهی و خاک ایجاد می‌کند. در مرحله بعدی، آستانه‌گذاری تصاویر خاکستری انجام شد. آستانه‌گذاری یکی از ساده‌ترین روش‌های جداسازی تصاویر است. در این روش، میزان روشنایی هر پیکسل از تصویر با یک حد آستانه مقایسه می‌شود. در صورتی که روشنایی پیکسل بیش‌تر از آستانه باشد، با رنگ سفید (۲۵۵) و در غیر این صورت با رنگ سیاه (صفر) علامت‌گذاری می‌شود. در نتیجه با ایجاد تصویر باینری (ماسک)، فقط پیکسل‌های بزرگ‌تر از حد آستانه در آن وجود خواهد داشت. در این پژوهش از روش آستانه‌گذاری ساده (انتخابی) استفاده شد. مشکل اصلی در این روش، تعیین حد آستانه براساس نظر فرد خبره در بحث پردازش تصویر است. دقت در این روش پایین بوده

و فرد براساس تحلیلی هیستوگرام تصویر می‌تواند به عدد موردنظر دست یابد. بنابراین، میزان خطا وابسته به دقت کاربر می‌باشد. واضح است تعیین مقدار حد آستانه فقط از طریق آزمون و خطا ممکن است و مقدار آن برای هر تصویر، متفاوت می‌باشد (شکل ۳).

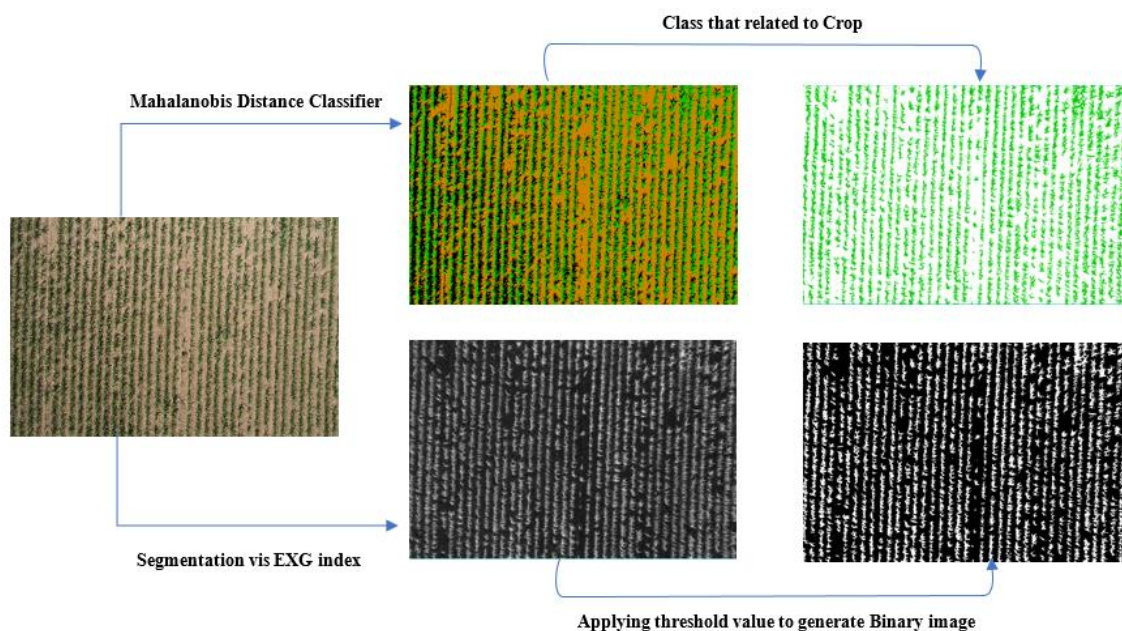


Figure 3. Two different methods of classification and segmentation for crop detection and calculating canopy cover percent at field

۳. نتایج و بحث

یک نمونه از نتایج پردازش تصاویر براساس طبقه‌بندی سه کلاسه (گیاه، خاک لخت و سایه) و ماسک باینری با استفاده از شاخص گیاهی ExG به‌روش آستانه‌گذاری انتخابی برای چند نمونه از نقاط مختلف مزرعه، در شکل (۴) نشان داده شده است. ستون اول از راست مربوط به تصاویر خام پهپادی، ستون دوم تصاویر پردازش‌شده کلاس گیاهی طبقه‌بندی به‌روش حداقل فاصله مالاهاونوبیس و ستون آخر ماسک باینری با آستانه‌گذاری انتخابی بر روی تصویر شاخص گیاهی در مراحل مختلف رشد است. نتایج پردازش تصاویر به‌صورت باینری معکوس بوده، به‌طوری‌که پیکسل‌های پس زمینه عدد یک و پیکسل‌های گیاه عدد صفر بودند و برای تعیین کسر پوشش گیاهی تعداد پیکسل‌های سیاه شمارش شدند. افزایش پوشش سایه‌انداز با گذشت زمان و پیشرفت مراحل رشد قابل ملاحظه است.

نتایج به‌دست‌آمده برای جداسازی برگ گیاه از پس زمینه تصویر و اعمال حدآستانه در مقابل مقادیر به‌دست‌آمده از کلاس گیاه، مربوط به الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌شده مورد مقایسه قرار گرفت. همان‌طور که در شکل (۵) قابل مشاهده است، از میان ۶۳ نمونه که در تمام مساحت مزرعه پراکنده شده بود، ۴۲ درصد مقادیر به‌دست‌آمده از روش جداسازی، بیش‌تر از روش طبقه‌بندی تصویر بود که به‌طور میانگین $14/3$ درصد بیش‌برآوردی داشت. نتایج مربوط به ۵۸ درصد مابقی نمونه‌ها نشان داد که مقادیر به‌دست‌آمده از روش جداسازی مقدار درصد پوشش گیاهی را $28/2$ درصد کم‌برآورد کرده است. به‌طور میانگین، نتایج مقایسه کل داده‌های نمونه‌برداری، مشخص کرد که روش جداسازی مقدار درصد پوشش گیاهی را ۱۰ درصد کم‌تر از الگوریتم طبقه‌بندی به‌دست آورد.

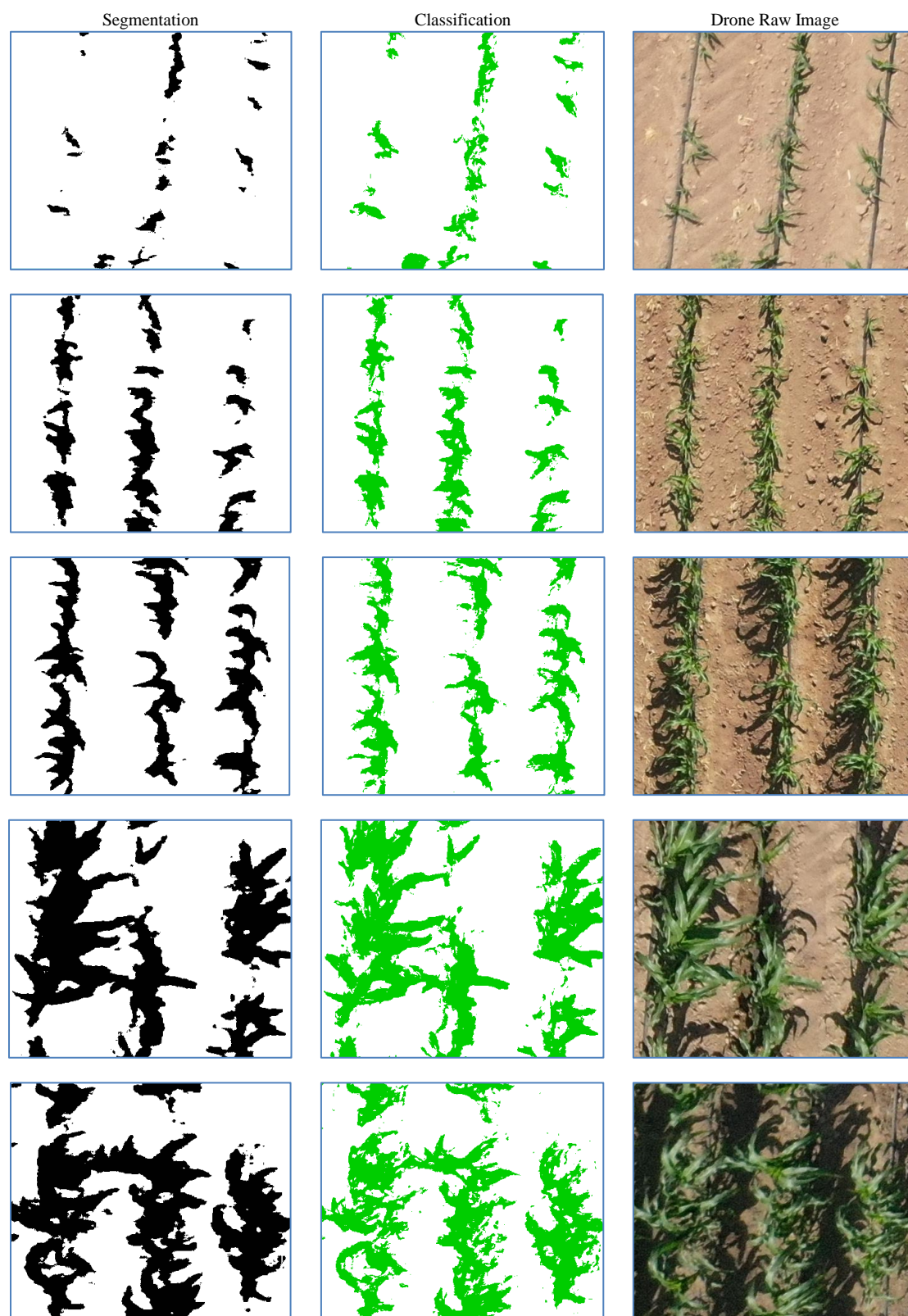


Figure 4. Results of processing raw drone image for detecting crop canopy at different crop growth stages

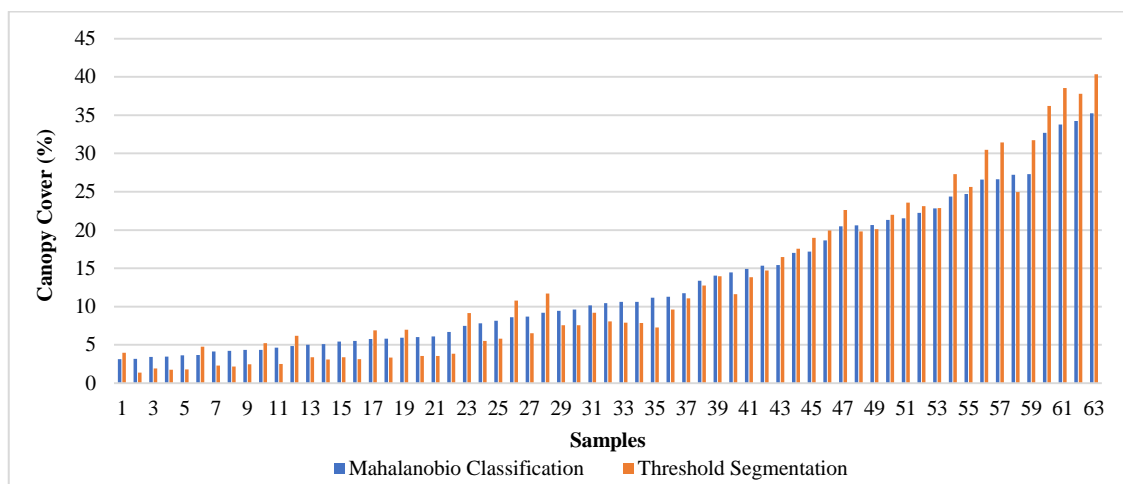


Figure 5. The comparison results of classification and segmentation method for estimating Canopy Cover

نتایج مربوط به آزمون تفکیک‌پذیری براساس معیار Jeffries برای کلاس‌های تعریف‌شده در محیط نرم‌افزار ENVI براساس میزان شباهت یا عدم شباهت پیسکل‌های استفاده شده در مرحله تعلیمی در جدول (۱) نشان داده شده است.

Table 1. ROIs Separability test based on Jeffries-Matusita for three classes of crop, shadows and bare soil in image

	Crop	Shadow	Bare Soil
Crop	0	(1.737-1.965)	(1.964-1.999)
Shadow	(1.737-1.965)	0	(1.964-1.999)
Bare Soil	(1.964-1.999)	(1.964-1.999)	0

طبق نتایج به‌دست‌آمده کم‌ترین مقدار برای آزمون تفکیک‌پذیری بین دو کلاس گیاه و سایه‌ها با مقدار $1/74$ ، سپس دو کلاس خاک لخت و سایه‌ها با مقدار $1/96$ و بیش‌ترین مقدار تفکیک‌پذیری بین کلاس‌های گیاه و خاک لخت با مقدار $1/964$ بود. هرچه مقدار به‌دست‌آمده به عدد دو نزدیک‌تر باشد به معنای تفکیک‌پذیری بیش‌تر بین دو کلاس تعریف شده است. به‌دلیل بزرگ‌تر بودن همه مقادیر از عدد یک می‌توان مشاهده کرد بین هر سه کلاس تعیین‌شده، قابلیت تفکیک وجود دارد، اگرچه تفکیک‌پذیری بین کلاس‌های گیاه و خاک خشک کم‌ترین میزان خطا و بیش‌ترین تفکیک‌پذیری را دارد. البته باید توجه داشت که مقادیر بیان‌شده برای هر نمونه متفاوت است و در اینجا نتایج یکی از نمونه‌ها گزارش شد.

در روش جداسازی هم، مقدار حد آستانه‌گذاری به‌روش سعی و خطا بین عدد ۲۰ تا ۳۴ تعیین گردید. طوری که بیش‌تری تطابق را با مقادیر به‌دست‌آمده براساس روش طبقه‌بندی نظارت‌شده داشت. ضریب همبستگی نتایج به‌دست‌آمده برای درصد پوشش گیاهی بین دو روش جداسازی و طبقه‌بندی در شکل (۶) نشان داده شده است. به‌طور کلی روش‌های تعیین درصد پوشش گیاهی براساس الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین دقت بالایی دارند. در این روش‌ها لازم است تعدادی نمونه برای آموزش به الگوریتم مورد استفاده در نظر گرفته شود. در روش‌های جداسازی نیازی به وجود داده‌های آموزشی نیست اما دقت نتایج منوط به تعیین صحیح مقدار حد آستانه‌گذاری و انتخاب شاخص گیاهی مناسب می‌باشد که هر دو پارامتر وابسته به نوع گیاه، شرایط تصویربرداری از نظر میزان روشنایی تصویر، ارتفاع پرواز پهپاد و عوامل دیگر است. به‌طور میانگین ضریب همبستگی بین کسر پوشش گیاهی برآورد شده به روش طبقه‌بندی و جداسازی، بیش از ۹۷ درصد به‌دست آمد (شکل ۶).

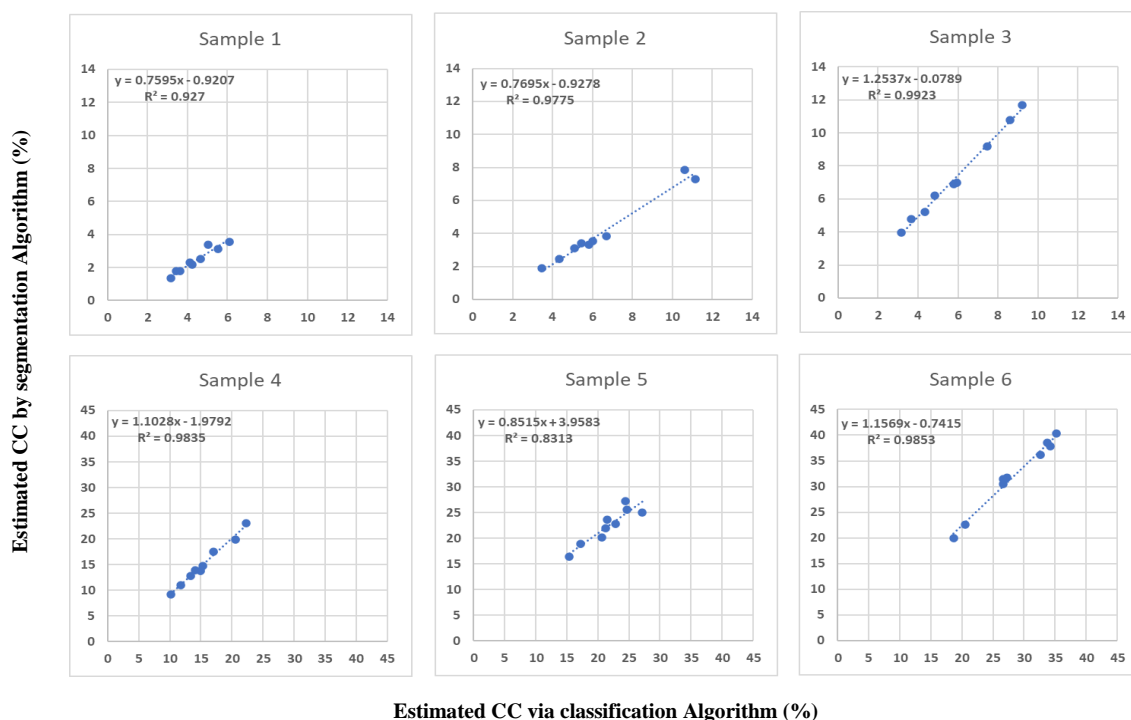


Figure 6. Linear regression between estimated Canopy Cover of two different methods of segmentation and classification

۴. نتیجه گیری

امروزه با پیشرفت علم رایانه و تجهیزات به روز می توان علاوه بر روش های آزمایشگاهی تعیین وضعیت سلامت گیاه، که بر مبنای نمونه برداری زمینی هستند، از تکنیک های پردازش تصویر در این زمینه استفاده نمود. روش های آزمایشگاهی نیاز به زمان و صرف هزینه بالا دارند، در حالی که در روش پردازش تصاویر آسیمی به گیاه نمی رسد و در حداقل زمان ممکن بیشترین اطلاعات را به کشاورز خواهد داد. نتایج این پژوهش نشان داد اگرچه روش هایی که بر پایه هوش مصنوعی هستند مانند روش های طبقه بندی نظارت شده دقت بالاتری نسبت به روش های دیگر دارند، اما روش هایی ساده تر مانند روش جداسازی نیز امکان تعیین درصد پوشش گیاهی را با دقت قابل قبولی دارد. روش های طبقه بندی نیاز به سیستم های قوی و زمان بیشتری دارند، در حالی که روش های جداسازی می تواند در گوشی تلفن همراه کشاورز اجرا شده و پردازش به مراتب کمتری را لازم دارد. در این پژوهش برای تعیین درصد پوشش گیاهی از تصاویر رنگی تصویربرداری شده در طیف مرئی استفاده شد، اما تصویربرداری در سایر طیف های الکترومغناطیسی به ویژه باند مادون قرمز می تواند دقت نتایج را در تعیین پیکسل های گیاه بسیار بالا ببرد. با توجه به دسترسی عموم افراد به گوشی های هوشمند که امکان تصویربرداری در طیف رنگی را دارند، مقایسه دو روش طبقه بندی و جداسازی برای همین نوع تصاویر انجام شد. در نتیجه به توجه به اهداف مورد نظر در صورت نیاز به پایش سلامت گیاه و بررسی سرعت رشد آن، می توان از تصویربرداری رنگی و روش های جداسازی با دقت قابل قبولی در سطح مزرعه بهره گرفت. همبستگی بالا بین داده های هر دو روش نشان می دهد که اگرچه دقت روش های مبتنی بر جداسازی پایین تر از روش های طبقه بندی است، اما در صورت عدم دسترسی به نرم افزارهای مورد نیاز که امکان تجزیه و تحلیل بر مبنای روش های هوش مصنوعی را دارند، می توان به راحتی با اجرای کدهای برنامه نویسی در زبان های سطح بالا و متن باز از جمله زبان پایتون به نتیجه مطلوبی

رسید. این زبان برنامه‌نویسی رایگان بوده و امکان پردازش کد را در تلفن‌های همراه ایجاد می‌کند. بنابراین کاربر می‌تواند در مزرعه به‌صورت به‌هنگام و بدون نیاز به تجهیزات گران قیمت روند تغییرات رشد گیاه خود را پایش نماید.

۵. پی‌نوشت‌ها

1. Canopy Cover Percentage (CCP)
2. Leaf Area Index (LAI)
3. Segmentation
4. Classification
5. Above See Level
6. Environment for Visualizing Images
7. Mahalanobis Distance Classification
8. Region of Interest
9. Excess Green Index

۶. تشکر و قدردانی

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 و قدردانی می‌گردد.

۷. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان وجود ندارد.

۸. منابع

- Ghosal, S., Blystone, D., Singh, A. K., Ganapathysubramanian, B., Singh, A., & Sarkar, S. (2018). An explainable deep machine vision framework for plant stress phenotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(18), 4613-4618. <https://doi.org/10.1073/pnas.1716999115>
- Kisalaei, A., Golmohammadzadeh, F., Rasouli Sharabiani, V., & Golmohammadi, A. (2014). Application Of Image Processing In Precision Agriculture. *3rd National Conference On Organic and Conventional Agriculture*. (In Persian).
- Noda, K., Ezaki, N., Takizawa, H., Mizuno, S., & Yamamoto, S. (2006). Detection of plant saplessness with image processing. *International Joint Conference SICE-ICASE*. p. 4856-4860.
- Poonguzhali, R., & Vijayabhanu, A. (2019). Crop condition assessment using machine learning. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 7(6), 897-900.
- Saxena, L., & Armstrong, L. (2014). A Survey of Image Processing Techniques for Agriculture. *Proceedings of Asian Federation for Information Technology in Agriculture*, 401-413. <https://doi.org/10.5120/20052-1983>
- An, J., Li, W., Li, M., Cui, S., & Yue, H. (2019). Identification and classification of maize drought stress using deep convolutional neural network. *Symmetry*, 11(2), 1-14. <https://doi.org/10.3390/sym11020256>
- Story, D., & Kacira, M. (2015). Design and implementation of a computer vision-guided greenhouse crop diagnostics system. *Machine Vision and Applications*, 26(4), 495-506. <https://doi.org/10.1007/s00138-015-0670-5>
- Coy, A., Rankine, D., Taylor, M., Nielsen, D. C., & Cohen, J. (2016). Increasing the accuracy and automation of fractional vegetation cover estimation from digital photographs. *Remote Sensing*, 8(7), 21-25. <https://doi.org/10.3390/rs8070474>

- Lee, K.-J., & Lee, B.-W. (2011). Estimating canopy cover from color digital camera image of rice field. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 14(2), 151-155. <https://doi.org/10.1007/s12892-011-0029-z>
- Haddadi, S. R., Soltani, M., & Hashemi, M. (2022). Comparing the Accuracy of different image processing methods to Estimate Sugar Beet Canopy Cover by Digital Camera Images. *Water and Irrigation Management*, 12(2), 295-308. <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.336225.954>. (In Persian).
- Kazmi, W., Garcia-Ruiz, F. J., Nielsen, J., Rasmussen, J., & Jørgen Andersen, H. (2015). Detecting creeping thistle in sugar beet fields using vegetation indices. *Computers and Electronics in Agriculture*, 112, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.01.008>
- Coy, A., Rankine, D., Taylor, M., Nielsen, D. C., & Cohen, J. (2016). Increasing the accuracy and automation of fractional vegetation cover estimation from digital photographs. *Remote Sensing*, 8(7), 21-25. <https://doi.org/10.3390/rs8070474>
- Thailambal, G., & Yogeshwari, M. (2020). Automatic segmentation of plant leaf disease using improved fast Fuzzy C-Means clustering and adaptive Otsu thresholding. *European Journal of Molecular and Clinical Medicine*, 7(3), 5447-5462. https://ejmcm.com/article_5513.html
- Chen, Y., & Gong, P. (2013). Clustering based on eigenspace transformation-CBEST for efficient classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 83, 64-80.
- Bruzzone, L., & Demir, B. (2014). A review of modern approaches to classification of remote sensing data. Pages 127-143. *Land Use and Land Cover Mapping in Europe*, Springer.
- Shao, Y., & Lunetta, R. S. (2012). Comparison of support vector machine, neural network, and CART algorithms for the land-cover classification using limited training data points. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 70, 78-87.
- Pal, M., & Mather, P. (2006). Some issues in the classification of DAIS hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 2895-2916.
- Sankarasrinivasan, S., Balasubramanian, E., Karthik, K., Chandrasekar, U., & Gupta, R. (2015). Health monitoring of civil structures with integrated UAV and image processing system. *Procedia Computer Science*, 54, 508-515.