



Evaluation of different methods of determining the Canopy Cover of Silage Maize

Zahra Partovi¹, Abbas Kaviani², Hadi Ramezani Etedali³, Masoud Soltani⁴, Leila Khosravi⁵

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: Zahrapartovi95@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: abbasskaviani@gmail.com
3. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir
4. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: msoltani@eng.ikiu.ac.ir
5. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: Lkhosravi@ut.ac.ir

Article Info

ABSTRACT

Article type: Research Article

Article history:

Received: June. 19, 2024

Revised: Aug. 19, 2024

Accepted: Nov. 2, 2024

Published online: Feb. 2025

Keywords:

AquaCrop,
Canopeo,
ENVI.

Vegetation indices effectively represent plant conditions in the field. Since Canopy Cover (CC) correlates with the plant's photosynthetic activity, this study aimed to evaluate the accuracy of two methods for determining CC in silage maize during different growth stages in a maize field in Qazvin using ENVI software and the Canopeo model and to compare the results with values obtained from the AquaCrop model. Imaging was conducted at different time intervals throughout the maize growing season in four scenarios: 1) top-down without a fisheye lens, 2) top-down with a fisheye lens, 3) bottom-up without a fisheye lens, and 4) bottom-up with a fisheye lens. The CC values in the obtained images were determined using three algorithms: maximum likelihood, minimum distance, and parallel method in ENVI. Initially, a qualitative assessment of image classification was performed using the three mentioned algorithms. The results indicated that the maximum likelihood algorithm had higher accuracy compared to the other two algorithms. The Statistical evaluation of the quantitative results from ENVI demonstrated high model accuracy in the maximum likelihood algorithm (Kappa coefficient > 0.82, overall accuracy > 93%, and minimal Commission and Omission errors). The lowest RMSE value was observed for CC estimated using the Canopeo software with bottom-up imaging with a lens (9.92). In general, it was found that bottom-up imaging without a lens (Canopeo) (R=0.8 and RMSE=11.81) and top-down imaging with a lens (ENVI) (R=0.82 and RMSE=13.26) were more capable in determining CC than the other Scenarios.

Cite this article: Partovi, Z., Kaviani, A., Ramezani Etedali, H., Soltani, M., Khosravi, L. (2025) Evaluation of different methods of determining the Canopy Cover of Silage Maize, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (12), 2467-2482. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.378106.669737>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.378106.669737>





EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

Increasing population, climate change, and reduced access to water resources have intensified the need to increase yield per unit area more than ever. Generally, crop yield is influenced by factors such as the environment, management practices, and genotype. Therefore, evaluating plant conditions in the field to achieve maximum yield is of great importance. Canopy cover, which is directly related to the amount of photosynthesis in the plant, is one of the important indices in the AquaCrop plant model for determining yield and management conditions in the field. Despite AquaCrop's sensitivity to CC, the default values of this index were often considered when running the model.

Purpose:

Given the importance of determining CC and the high sensitivity of the AquaCrop model, the aim of this study was to evaluate the accuracy of CC estimation by the two models, ENVI and Canopeo.

Research method:

Four imaging modes of vegetation cover were considered during the growth of corn. The imaging treatments included: 1) top-down imaging with a fisheye lens, 2) top-down imaging without a fisheye lens, 3) bottom-up imaging with a fisheye lens, and 4) bottom-up imaging without a fisheye lens. It should be pointed out that the nadir images were captured from 9 AM to 12 PM. To select the best image classification method for determining CC using ENVI, three methods were used: maximum likelihood, minimum distance, and parallel. Then the appropriate method was selected by examining the Kappa coefficient, overall accuracy, Commission, and Omission. The AquaCrop model was run under field conditions, and the standard CC value was obtained from the model. Finally, the CC obtained from the three models, AquaCrop, ENVI, and Canopeo, was evaluated using the statistical indices correlation coefficient (CC) and RMSE.

Results:

At first, the three classification algorithms in ENVI were evaluated. In the maximum likelihood method, the Kappa coefficient ranged from 0.82 to 0.97, overall accuracy ranged from 93.69 to 99.14, Commission error ranged from 17.07 to 59.44, and Omission error ranged from 4 to 19.63, indicating that its performance was better than other classification methods. The qualitative evaluation of the results from the Canopeo model also indicated sufficient accuracy in estimating CC. Comparing the results from ENVI and Canopeo with AquaCrop showed that the RMSE had the minimum value in the Canopeo model for bottom-up imaging with a fisheye lens (RMSE = 9.92). The correlation coefficient of the results from the ENVI and Canopeo models with AquaCrop was satisfactory (0.68 to 0.97). Overall, the CC determined by Canopeo for bottom-up imaging without a lens (CC=0.8, RMSE= 11.81) and the CC determined by the maximum likelihood algorithm in ENVI for top-down imaging with a fisheye lens (CC= 0.82, RMSE= 13.26) showed the best performance.

Conclusion:

The accuracy of CC estimation by Canopeo model was higher than that of ENVI; Also, the determination of CC in Canopeo required less time than ENVI. In the images recorded from the top-bottom with a fish eye lens, the error in CC determination increased due to the increase in the number of objects and distortion. The impact of the mentioned errors were greater in the determination of CC by Canopeo.

Author Contributions

Conceptualization, Abbas.Kaviani., Zahra.Partovi.; methodology, Abbas.Kaviani., Zahra.Partovi. and Hadi.Ramezani.Etedali.; software, Zahra.Partovi.; validation, Abbas.Kaviani., Zahra.Partovi.; formal analysis, Abbas.Kaviani., Zahra.Partovi.; investigation, Abbas. Kaviani., Zahra.Partovi.; resources, Zahra.Partovi.; data curation, Abbas. Kaviani., Zahra.Partovi., Hadi.Ramezani.Etedali., Masoud.Soltani., Leila. Khosravi.; writing—original draft preparation, Zahra.Partovi.; writing—review and editing, Abbas. Kaviani.; visualization, Zahra.Partovi.; supervision, Abbas. Kaviani., Hadi.ramezani.Etedali.; project administration, Abbas. Kaviani.; funding acquisition, Abbas. Kaviani., Leila Khosravi., All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Due to the nature of the research, due to [ethical/ legal/ commercial] supporting data is not available.

Acknowledgements

The authors feel it necessary to express their gratitude to Hezar Jolfa Agro-Industrial Company and the Iranian Space Research Institute for their sincere cooperation in advancing the present research.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

ارزیابی روش‌های مختلف تعیین سطح سایه‌انداز ذرت علوفه‌ای

زهرا پرتوی^۱، عباس کاویانی^۲، هادی رضانی اعتدالی^۳، مسعود سلطانی^۴، لیلا خسروی^۵^۱ گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه: Zahrapartovi95@gmail.com^۲ نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه: abbaskaviani@gmail.com^۳ گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir^۴ گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه: soltani.ikiu@gmail.com^۵ گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: Lkhosravi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	شاخص‌های گیاهی به‌خوبی شرایط گیاه در مزرعه را بیان می‌کنند. از آنجاکه سطح سایه‌انداز (CC) با فعالیت فتوسنتزی گیاه همبستگی دارد، هدف از مطالعه حاضر بررسی دقت دو روش تعیین CC ذرت در طول مراحل مختلف رشد در مزرعه ذرت علوفه‌ای در قزوین توسط نرم‌افزار ENVI و مدل Canopeo و مقایسه نتایج حاصل با مقادیر حاصل از مدل Aquacrop است. در فواصل زمانی مختلف در طول فصل رشد گیاه ذرت تصویر برداری در چهار حالت: (۱) از بالا به پایین بدون لنز چشم ماهی، (۲) بالا به پایین با لنز چشم ماهی، (۳) پایین به بالا بدون لنز چشم ماهی و (۴) پایین به بالا با لنز چشم ماهی انجام شد. مقدار CC در تصاویر حاصله توسط سه الگوریتم حداکثر احتمال، حداقل فاصله و روش موازی در ENVI تعیین شد. ابتدا ارزیابی کیفی کلاس‌بندی تصاویر در سه الگوریتم نامبرده صورت گرفت. نتایج بیانگر دقت بیشتر الگوریتم حداکثر احتمال نسبت به دو الگوریتم دیگر بود. ارزیابی آماری نتایج کمی حاصل از ENVI بیانگر دقت بالا مدل در الگوریتم حداکثر احتمال بود (ضریب کاپا 0.82، دقت کلی 0.93، Commission و Omission حداقل مقدار). حداقل مقدار RMSE به ترتیب مربوط به سطح سایه‌انداز برآورد شده توسط نرم‌افزار Canopeo در تصویر برداری از پایین به بالا با لنز (۹/۹۲) بود. به طور کلی می‌توان دریافت که تصویر برداری پایین به بالا بدون لنز (Canopeo) ($R=0.8$ و $RMSE=11.81$) و تصویر برداری از بالا به پایین با لنز (ENVI) ($R=0.82$ و $RMSE=13.26$) نسبت به سایر حالت‌ها در تعیین سطح سایه‌انداز توانمندتر بوده‌اند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۳۰	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۵/۲۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۱۲	
تاریخ انتشار: اسفند ۱۴۰۳	
واژه‌های کلیدی: AquaCrop, ENVI, Canopeo	

استناد: پرتوی؛ زهرا، کاویانی؛ عباس، رضانی اعتدالی؛ هادی، سلطانی؛ مسعود، خسروی؛ لیلا، (۱۴۰۳) ارزیابی روش‌های مختلف تعیین سطح سایه‌انداز ذرت علوفه‌ای،

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۵ (۱۲)، ۲۴۶۷-۲۴۸۲. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.378106.669737>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.378106.669737>

مقدمه

بر اساس پیش‌بینی سازمان خواربار و کشاورزی (FAO)، جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۹ میلیارد نفر که عمدتاً در کشورهای در حال توسعه ساکن هستند، خواهد رسید (Bruinsma, 2017). برای تغذیه این جمعیت، تولید با توجه به مسائل مربوط به حفظ محیط زیست باید به طور پایدار ۷۰ درصد افزایش یابد (Sodari et al., 2021). کشت ذرت بیش از ۹۰۰۰ سال پیش در جنوب مکزیک آغاز شد. مساحت جهانی ذرت (برای دانه خشک) به ۱۹۷ میلیون هکتار می‌رسد که شامل مناطق قابل توجهی در جنوب صحرای آفریقا، آسیا و آمریکای لاتین است. ذرت در مقایسه با گندم و برنج، یک محصول چند منظوره همه کاره محسوب می‌شود. این محصول در تامین غذای دام، انرژی و خوراک انسان نقش بسزایی دارد. با توسعه اقتصادی، مصرف غذاهای حیوانی باعث تسریع و افزایش تقاضای ذرت به‌عنوان خوراک شده که آسیا نمونه بارز آن است. در نتیجه ذرت نقش متنوع و مهمی در سیستم‌های جهانی کشاورزی و امنیت غذایی ایفا می‌کند (Erenstein et al., 2022). برخی از مطالعات نشان داده‌است که عملکرد ذرت می‌تواند در سال‌های آینده در نتیجه تغییرات آب و هوایی و انسانی کاهش یابد. عملکرد محصول ذرت به‌طور مستقیم تحت تاثیر عواملی مانند محیط، شیوه‌های مدیریتی، ژنوتیپ قرار دارد. تاثیر الگوهای اقلیمی منطقه و پدیده‌های هواشناسی در مقیاس بزرگ می‌تواند تاثیر بسزایی بر تولیدات کشاورزی داشته باشد. ژنوتیپ‌ها در طول سال‌ها به‌طور قابل توجهی بهبود یافته‌اند همچنین پیشرفت‌های تکنولوژیکی مهمی در ماشین آلات مورد استفاده در شیوه‌های مدیریت ایجاد شده‌است. در این شرایط، پیش‌بینی عملکرد، داده مهمی برای تولید مواد غذایی، اتخاذ تصمیمات اقتصادی و مدیریتی آگاهانه و به موقع محسوب می‌گردد. تشخیص زودهنگام و صحیح مشکلات مرتبط با عوامل عملکرد محصول می‌تواند به افزایش بازده و متعاقب آن به درآمد کشاورزان کمک کند. پیش‌بینی دقیق، عینی، قابل اعتماد و به‌موقع عملکرد محصول در مناطق وسیع برای کمک به تضمین عرضه کافی غذا برای یک کشور و کمک به سیاستمداران مسئول برای برنامه‌ریزی و تعیین قیمت‌ها به‌منظور واردات یا صادرات ضروری است (Garcia-Martinez et al., 2020). یکی از پارامترهای مهم در پایش شرایط حاکم بر مزرعه شاخص سطح سایه‌انداز (CC) است. شاخص CC بیانگر نسبت سطح سایه‌انداز (پوشش گیاه) به سطح زمین (پس زمینه) است. در ابتدا از شاخص CC برای بررسی شرایط حاکم بر پوشش جنگلی استفاده می‌شد و اکثر روش‌های موجود برای تعیین این شاخص در جنگل‌ها کاربرد داشت. حداکثر مقدار این شاخص ۱۰۰ درصد است که بیانگر سطح تحت تاثیر گیاه می‌باشد. به بیان دیگر ارزیابی و بررسی سطح سایه‌انداز گیاه به دلیل وجود همبستگی بین فعالیت فتوسنتزی سطح سبز گیاه با سطح سایه‌انداز از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌طور کلی روش‌های تعیین CC به دو گروه؛ روش‌های بصری و روش‌های غیرمخرب تقسیم می‌شوند. امروزه به دلیل صرفه‌جویی در هزینه و زمان استفاده از روش‌های غیرمخرب بسیار گسترش یافته‌است. از جمله روش‌های غیرمخرب می‌توان به روش‌های فتوگرامتری، نرم‌افزار Canopeo، Samplepoint و غیره اشاره نمود. در استفاده از روش‌های غیرمخرب توجه به این مساله که تصاویر مورد بررسی در روزهای بدون ابر، در ساعات ۱۰ صبح الی ۲ ظهر به صورت نادر^۱ ثبت شوند، الزامی است (Govindasamy et al., 2022).

در خصوص استفاده از روش‌های مختلف به‌منظور تعیین سطح سایه‌انداز مطالعات متعددی صورت گرفته است. Patrignani & Ochsner (2015) به بررسی و مقایسه مقدار کسر سطح سایه‌انداز (FGCC) برآورد شده توسط ابزار Canopeo، SamplePoint و SigmaScan Pro پرداختند. آن‌ها دریافتند سرعت پردازش تصویر Canopeo، ۲۰ تا ۱۳۰ برابر سریعتر از SigmaScan و ۷۵ تا ۲۵۰۰ برابر سریعتر از SamplePoint بود. Canopeo در مقایسه با SamplePoint، ۹۰ درصد پیکسل‌ها را به درستی طبقه‌بندی کرد. در یک پژوهش (Goodwin et al., 2018) به مقایسه اندازه‌گیری NDVI، FGCC و تعداد ساقه در مراحل مختلف رشد گندم برای تخمین عملکرد دانه گندم زمستانه در اوهایو پرداختند. نتایج آن‌ها بیانگر اهمیت زمان در تعیین NDVI و FGCC بود. همچنین Govindasamy et al. (2022) به مقایسه سطح سایه‌انداز علفه‌ای که با استفاده از نرم‌افزار فتوگرامتری (Canopeo و SamplePoint) و ارزیابی‌های بصری برآورد شده، در هند پرداختند. ارزیابی‌ها در سه محصول تابستانی (ذرت، لوبیا چشم بلبلی و سورگوم)، دو محصول زمستانه (شیدر مصری و جو) و زمین فاقد پوشش انجام شد. برای هر پلات، سه تصویر نادر (مستقیم بالای سایبان) با استفاده از دوربین‌های دیجیتال از ارتفاع ۱٫۵ متری از سطح خاک بین ساعت ۱۰ صبح تا ۲ بعد از ظهر در روزهای آفتابی روشن ثبت شد. نتایج نشان داد که مرحله رشد محصول، ارتفاع محصول و بقایای مرده در اطراف گیاهان تا حد زیادی بر تخمین پوشش محصول تاثیر می‌گذارد. Jorenush et al. (2022) به‌منظور تخمین CC در چهار مزرعه گندم در مناطق وسیع استان‌های فارس و خوزستان از شاخص NDVI استفاده کردند. آن‌ها



یک معادله رگرسیون ساده بین CC و NDVI از ۶۴ تصویر Landsat 8-Oli با دقت بالا از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ ایجاد کردند. آن‌ها دریافتند که به‌عنوان یک روش پیشنهادی، می‌توان از معادله CC-NDVI برای پیش‌بینی CC از NDVI به‌عنوان یک روش کم‌هزینه در منطقه مورد مطالعه برای مطالعات رشد محصول، مدل‌های رشد محصول و مدیریت رشد محصول استفاده کرد. در پژوهشی دیگر Nielsen et al. (2012) به تعیین روابط بین شاخص سطح برگ و CC برای ذرت، گندم زمستانه و بهاره کشت شده در شرایط دیم یا آبیاری بسیار محدود پرداختند. نتایج آن‌ها بیانگر وجود رابطه نمایی قوی بین LAI و CC بود. در گیاه ذرت برای LAI کمتر از ۲ مترمربع در متر رابطه بین CC و LAI مشابه روابط منتشر شده قبلی بود اما برای LAI‌های بیشتر CC کمتری پیش‌بینی شد.

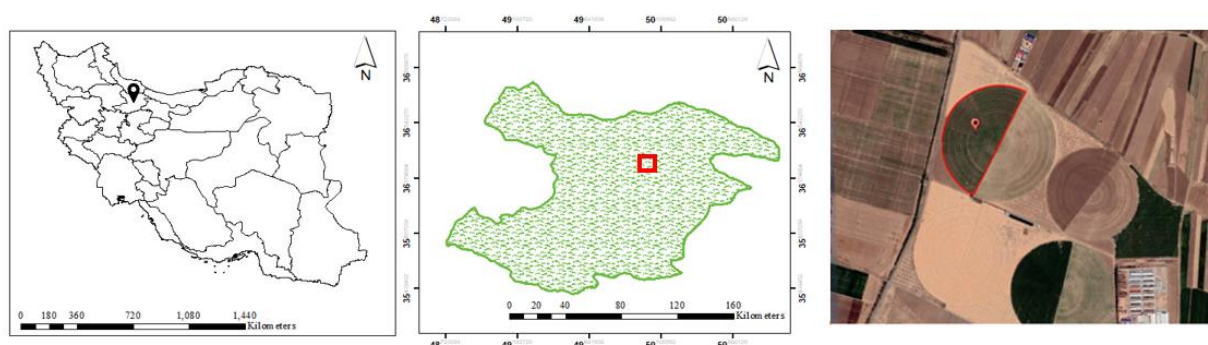
پژوهش‌های انجام شده بیانگر امکان تخمین دقیق سطح سایه‌انداز توسط مدل AquaCrop است (Shan et al., 2022; Sodari et al., 2021) شاخص سطح سایه‌انداز که اغلب در حین اجرای مدل توسط کاربران مقدار آن همان اعداد ثابت ارائه شده توسط مدل در نظر گرفته می‌شود. در پژوهش انجام شده توسط Xing et al. (2017) به کالیبراسیون و تحلیل حساسیت مدل AquaCrop در پکن (چین) به‌منظور تعیین پارامترهای تأثیرگذار و غیر تأثیرگذار با توجه به زیست توده روی زمین، سطح سایه‌انداز و عملکرد دانه گندم زمستانه در منطقه پکن توسط مدل AquaCrop تحت تیمارهای آبی مختلف (بارندگی، آبیاری معمولی و آبیاری بیش از حد) پرداخته شد. آن‌ها دریافتند که برای CC با سری زمانی و عملکرد، تحت تنش آبی نسبت به شرایط بدون تنش آبی حساسیت بیشتری وجود داشت. همچنین مدل AquaCrop در شرایط تنش آبی دقت بالاتری نسبت به شرایط بدون تنش آبی داشت. (Wang et al. (2022) به واسنجی و اعتبارسنجی سطح سایه‌انداز گیاه، عملکرد دانه، زیست توده، محتوای آب خاک، تبخیر و تعرق محصول (ETc) و بهره‌وری آب (WP) محصول تحت برنامه ریزی آبیاری ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ ظرفیت زراعی با روش‌های آبیاری بارانی، قطره‌ای و غرقابی برای محصول گندم زمستانه در مدل AquaCrop پرداختند. آن‌ها دریافتند که مدل AquaCrop سطح سایه‌انداز، عملکرد دانه، زیست توده، محتوای آب خاک، ETc و WP گندم زمستانه را با اطمینان بالا تحت برنامه‌ها و روش‌های آبیاری مختلف در یک مطالعه موردی در دشت شمال چین شبیه‌سازی می‌کند.

با توجه به اهمیت بهبود مدیریت اراضی در حین رشد و توسعه محصول به‌منظور افزایش بهره‌وری آب و عملکرد در واحد سطح همچنین ارتباط بین شاخص CC با فتوسنتز، این شاخص نماینده خوبی برای ارزیابی شرایط زراعی محسوب می‌گردد. همچنین از آنجا که ابزارهای فتوگرامتری مانند Canopeo و ENVI به‌طور گسترده برای تحقیقات در ایران مورد استفاده قرار نگرفته و در مقایسه با ارزیابی‌های بصری، برای اندازه‌گیری CC در محصولات علوفه‌ای (مانند ذرت)، هیچ داده‌ای در دسترس نیست. یافتن روشی مناسب به‌منظور تخمین CC از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در مطالعه حاضر به مقایسه مقدار CC برآورد شده توسط دو نرم‌افزار ENVI و Canopeo در اراضی تحت کشت ذرت در استان قزوین با نتایج حاصل از مدل AquaCrop و تعیین روش مناسب به‌منظور بهبود تخمین عملکرد مزارع پرداخته شده‌است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان قزوین یکی از قطب‌های کشاورزی ایران به‌شمار می‌رود. پژوهش حاضر در یک مزرعه ۲۹ هکتاری با موقعیت جغرافیایی " ۰۶/۲۰ ° ۳۶ ° ۰۹' عرض شمالی و " ۱۳/۹۳ ° ۰۱' ۵۰ طول شرقی در استان قزوین انجام شد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه براساس اقلیم نمای دومارتن دارای اقلیم نیمه خشک سرد می‌باشد (هدایتی و کاکاوند، ۱۳۹۱). در تاریخ ۱۵ خرداد سال ۱۴۰۲ مزرعه مذکور تحت کشت گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ قرار گرفت. طول دوره رشد گیاه ذرت در مزرعه مذکور ۹۲ روز بوده و برداشت محصول در ۲۰ شهریور انجام شد. سیستم آبیاری مورد استفاده سنتریپوت بود.



شکل ۱. موقعیت مزرعه مورد بررسی در پژوهش حاضر

تصویربرداری

پس از گسترش استفاده از روش‌های فتوگرامتری به منظور تعیین CC (به‌خصوص در گیاهان با ارتفاع زیاد) به دلیل افزایش سطح پوشش اغلب از لنز چشم ماهی استفاده می‌شود. با توجه به ابعاد گیاه در مراحل ابتدایی رشد با فاصله ثابت نیم متر بالاتر از سطح گیاه به صورت کاملاً عمود از سطح زمین در دو حالت بدون لنز و با لنز چشم ماهی تصویر برداری از سطح مزرعه توسط دوربین ۶۴ مگاپیکسلی صورت گرفت. پس از رشد گیاه با توجه به مرسوم بودن تصویر برداری از پایین به بالا به منظور تعیین CC در گیاهان با ارتفاع زیاد؛ از پایین به بالا نیز در ارتفاع ۵ سانتی متری از سطح زمین تصویر برداری در دو حالت بدون لنز چشم ماهی و با لنز چشم ماهی توسط دوربین ۲۰ مگاپیکسلی انجام شد. لازم به ذکر است در هر مرحله تصویربرداری در ۳ تا ۵ نقطه کاملاً تصادفی در مزرعه صورت گرفت. نخستین تصویر برداری در تاریخ ۱ تیرماه صورت گرفت. به‌طور کلی تصویر برداری در طول فصل رشد گیاه ذرت ۱۲ مرتبه صورت گرفت و مجموعاً ۱۸۲ تصویر در چهار حالت مختلف تصویربرداری از بالا به پایین بدون لنز چشم ماهی، از بالا به پایین با لنز چشم ماهی، پایین به بالا بدون لنز چشم ماهی، از پایین به بالا با لنز چشم ماهی در نقاط مختلف مزرعه حاصل شد.

کلاس‌بندی تصاویر به منظور تعیین CC

طبقه‌بندی پیکسل‌های تشکیل‌دهنده تصاویر، اختصاص دادن یا معرفی هر یک از پیکسل‌ها به کلاس مشخص را طبقه‌بندی گویند. امکان طبقه‌بندی تصاویر در نرم‌افزار ENVI به دو صورت طبقه‌بندی نظارت نشده^۱ و طبقه‌بندی نظارت شده^۲ وجود دارد. در این پژوهش از طبقه‌بندی نظارت شده به منظور تعیین CC استفاده شده است. طبقه‌بندی نظارت شده بر اساس این ایده که کاربر می‌تواند پیکسل‌های نمونه را در یک تصویر که نماینده کلاس‌های خاص هستند را انتخاب نماید و سپس نرم افزار پردازش تصویر را هدایت کند تا از این سایت‌های آموزشی به عنوان مرجع برای طبقه‌بندی تمام پیکسل‌های موجود در تصویر استفاده کند، می‌باشد. سایت‌های آموزشی براساس دانش کاربر انتخاب می‌شوند. در نرم افزار ENVI محدوده‌ها توسط ایجاد ROI تعریف می‌گردند. ابتدا با بررسی مقدار پارامتر ROI Separability از دقت ROI اطمینان حاصل شد. در صورتی که مقدار پارامتر نامبرده بیشتر از ۱/۵ بوده و به ۲ نزدیک شود، تفکیک بین ROI به منظور کلاس بندی از دقت بالاتری برخوردار خواهد بود. این محدوده‌ها اغلب بر اساس ویژگی‌های طیفی ناحیه تمرین، به اضافه یا منهای یک افزایش معین تنظیم شده‌اند. سپس تعداد کلاس‌هایی را که تصویر در آن‌ها طبقه‌بندی شده است، تعیین گشت. لازم به ذکر است انتخاب یک طبقه بندی کننده یا قانون تصمیم گیری خاص به ماهیت داده‌های ورودی و خروجی مورد نظر بستگی دارد. از جمله الگوریتم‌های کلاس بندی که اغلب استفاده می‌شوند، قوانین تصمیم‌گیری موازی^۳، حداقل فاصله^۴ و حداکثر احتمال^۵ است (Lillesand et al., 2015).

پس از کلاس بندی مقدار CC از رابطه زیر برآورد شد (تعداد پیکسل‌های مورد نیاز در نرم‌افزار ENVI ارائه می‌گردد):

$$CC = \frac{\text{تعداد پیکسل‌های مربوط به بخش گیاه}}{\text{کل پیکسل‌های مربوط به کادر اصلی تصویر}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

1. Unsupervised Classification
2. Supervised Classification
3. Parallelepiped
4. Minimum Distance
5. Maximum Likelihood

Canopeo

Canopeo یک نرم افزار دیجیتالی مبتنی بر تصویر برای اندازه‌گیری سطح سایه‌انداز بوده که توسط دانشگاه ایالتی اوکلاهما توسعه یافته است (Govindasamy et al. 2022). Canopeo تمام پیکسل‌های تصویر را تجزیه و تحلیل و طبقه‌بندی می‌کند. تجزیه و تحلیل براساس انتخاب پیکسل‌ها با توجه به نسبت‌های سبز به قرمز^۱، آبی به سبز^۲ و شاخص سبز اضافی است. ماحصل تجزیه و تحلیل یک تصویر باینری است که در آن پیکسل‌های سفید با پیکسل‌هایی مطابقت دارند که معیارهای انتخاب را برآورده می‌کنند (سایه‌انداز سبز) و پیکسل‌های سیاه مربوط به پیکسل‌هایی هستند که معیارهای انتخاب را دارا نیستند (فاقد سایه‌انداز سبز). کسر سطح سایه‌انداز سبز از ۰ (بدون سطح سایه‌انداز سبز در ابتدای رشد گیاه) تا ۱ (۱۰۰٪ سطح سایه‌انداز سبز) متغیر است. طبقه بندی سطح سایه‌انداز بر اساس معیارهای زیر صورت می‌گیرد:

$$\frac{R}{G} < P_1 \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\frac{B}{G} < P_2 \quad \text{رابطه ۳}$$

$$2G - R - B < P_3 \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن R: باند قرمز، G: باند سبز، B: باند آبی بوده و معمولاً P_1 و P_2 برای طبقه‌بندی پیکسل‌هایی که عمدتاً در باند سبز (۵۰۰-۵۷۰ نانومتر) قرار گرفته‌اند، مقدار نزدیک به ۱ در نظر گرفته می‌شود. P_3 پارامتری است که حداقل شاخص سبز اضافی را تنظیم کرده و معمولاً مقداری در حدود ۲۰ را برای انتخاب پوشش گیاهی سبز داراست. مقادیر پارامتر پیش فرض برای Canopeo شامل $P_1=0/95$ و $P_2=0/95$ است (Patrignani & Ochsner, 2015).

مدل گیاهی

AquaCrop رشد، نمو و پیری محصول را با استفاده از سطح سایه‌انداز سبز (CC) شبیه سازی می‌کند. از دیگر ویژگی‌های مدل AquaCrop این است که به‌جای شاخص سطح برگ^۳ (LAI) از پوشش سبز روی سطح زمین^۴ (GCC) استفاده می‌کند که در آن شاخص درجه روزرشد^۵ (GDD) اهمیت ویژه‌ای داشته و به‌جای ضریب کاهش نسبی عملکرد به بررسی شاخص بهره‌وری می‌پردازد. مقدار CC در مدل AquaCrop توسط دو معادله شبیه‌سازی می‌گردد (FAO, 2012):

$$\text{If } CC \leq CC_x \rightarrow CC = CC_0 \cdot e^{tCGC} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$\text{If } CC \geq CC_x \rightarrow CC = CC_x^{-0.25} \frac{(CC_x)^2}{CC} e^{-tCGC} \quad \text{رابطه ۶}$$

CC: سطح سایه‌انداز در زمان t ; CC_0 : مقدار سطح سایه‌انداز اولیه در زمان $t=0$; CC_x : حداکثر سطح سایه‌انداز، CGC: ضریب رشد سایبان، t : زمان (درجه-روز-رشد). از آنجا که بررسی‌ها بیانگر توانمندی مدل در تعیین مقدار CC است (Shan et al., 2022; Sodari et al., 2021; Wang et al., 2022). با توجه به مشکل بودن تعیین CC در مزرعه، اغلب ضرایب CC بدون تغییر در مدل AquaCrop به صورت پیش فرض مورد استفاده قرار می‌گیرد. بررسی‌ها بیانگر حساسیت بالای مدل به مقدار CC به عنوان یک پارامتر ورودی در شبیه‌سازی شرایط حاکم در مزرعه است (ادبی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Luiz et al., 2022). از مدل کالیبره شده در این پژوهش استفاده شد (سعیدی و همکاران، ۱۴۰۰) و پس از وارد کردن اطلاعات مورد نیاز مقدار CC در طول رشد گیاه ذرت از مدل AquaCrop حاصل شده و نتایج مدل به‌عنوان تیمار مشاهده‌ای برای مقایسه CC حاصل از سایر روش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

ارزیابی آماری

1. R/G
 2. B/G
 3. Leaf Area Index
 4. Green Canopy Cover
 5. Growing Degree Day

به منظور ارزیابی و انتخاب روش مناسب برای کلاس‌بندی تصاویر توسط نرم‌افزار ENVI پارامترهای ضریب کاپا، دقت کلی، Commission و Omission بعد از هر کلاس‌بندی بررسی شد. سپس برای ارزیابی و انتخاب بهترین روش تعیین CC از شاخص‌های آماری RMSE و ضریب همبستگی (R) استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱. شاخص‌های آماری مورد استفاده به منظور ارزیابی نتایج

توضیحات	نحوه برآورد	شاخص
مانند اکثر آمارهای همبستگی، کاپا می‌تواند از -۱ تا +۱ تغییر یابد (Mchugh, 2012).	$\frac{\Pr(a) - \Pr(e)}{1 - \Pr(e)}$	ضریب کاپا (Kappa)
-	$\frac{RNSC}{TND}$	دقت کلی (Overall Accuracy)
خطای Commission به طور خاص به طبقه بندی اشتباه کلاس-های غیر هدف به عنوان کلاس‌های هدف اشاره دارد (Lillesand et al., 2015).	$\frac{NDP}{ADG}$	Commission
خطای Omission بیانگر خطای در قرار گیری نقاط مرجع زمینی در هر کلاس‌بندی است (Lillesand et al., 2015).	$\frac{LCP}{ASP}$	Omission
(Hyndman & Koehler, 2006)	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_i - R_i)^2}$	RMSE
(Pearson, 1997)	$\frac{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})(R_i - \bar{R})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2 \sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2}}$	R

که در آن $\Pr(a)$: نشان دهنده توافق مشاهده شده واقعی است؛ $\Pr(e)$: نشان دهنده توافق شانسی است؛ RNSC: تعداد پیکسل‌هایی که با توجه به ویژگی پیکسل‌های مرجع به درستی در کلاس بندی مرجع قرار گرفته‌اند؛ TND: کل نمونه‌های زمینی تعیین شده؛ NDP: تعداد پیکسل‌های متفرقه قرار گرفته در کلاس مورد نظر؛ ADG: کل نمونه‌های زمینی تعریف شده؛ LCP: پیکسل‌های زمینی که به درستی در کلاس مورد نظر قرار گرفته‌اند؛ ASD: کل پیکسل‌های زمینی تعریف شده برای کلاس مورد نظر؛ G_i : مقدار CC گزارش شده توسط مدل AquaCrop، R_i : مقدار CC حاصل از سایر مدل‌ها؛ \bar{G} : متوسط داده‌های CC حاصل از مدل AquaCrop، \bar{R} : متوسط مقادیر CC به دست آمده از سایر مدل‌ها و N: تعداد داده‌ها است.

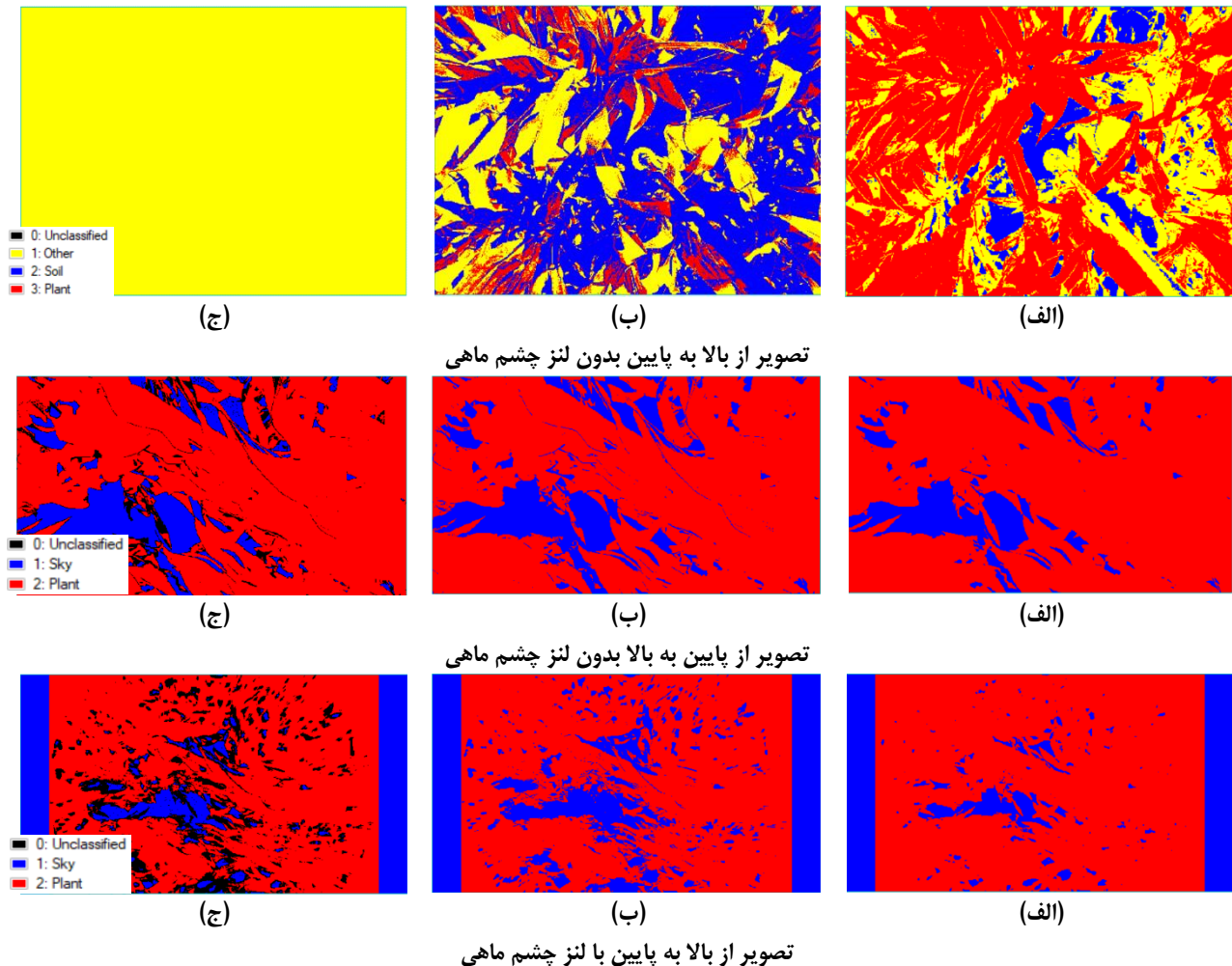
نتایج و بحث

ارزیابی روش‌های تعیین CC

پس از کلاس‌بندی توسط نرم‌افزار ENVI، باید ارزیابی کمی و کیفی روش‌های ارزیابی مورد بررسی صورت گیرد. پس از تعریف محدوده هر کلاس در هر سه روش برای حالت‌های مختلف کلاس‌بندی، خروجی دریافت شد (شکل ۲). همانطور که در شکل (۲) مشاهده شده‌است، از نظر کیفی روش موازی از اعتبار کافی به منظور کلاس‌بندی برخوردار نیست. در بین دو روش حداکثر احتمال و حداقل فاصله؛ روش حداکثر احتمال از دقت بالاتری برخوردار است. همچنین در تیمارهای ثبت عکس توسط لنز چشم ماهی مقدار خطا در تشخیص بخش گیاهی در هر دو روش حداکثر احتمال و حداقل فاصله افزایش یافته است.

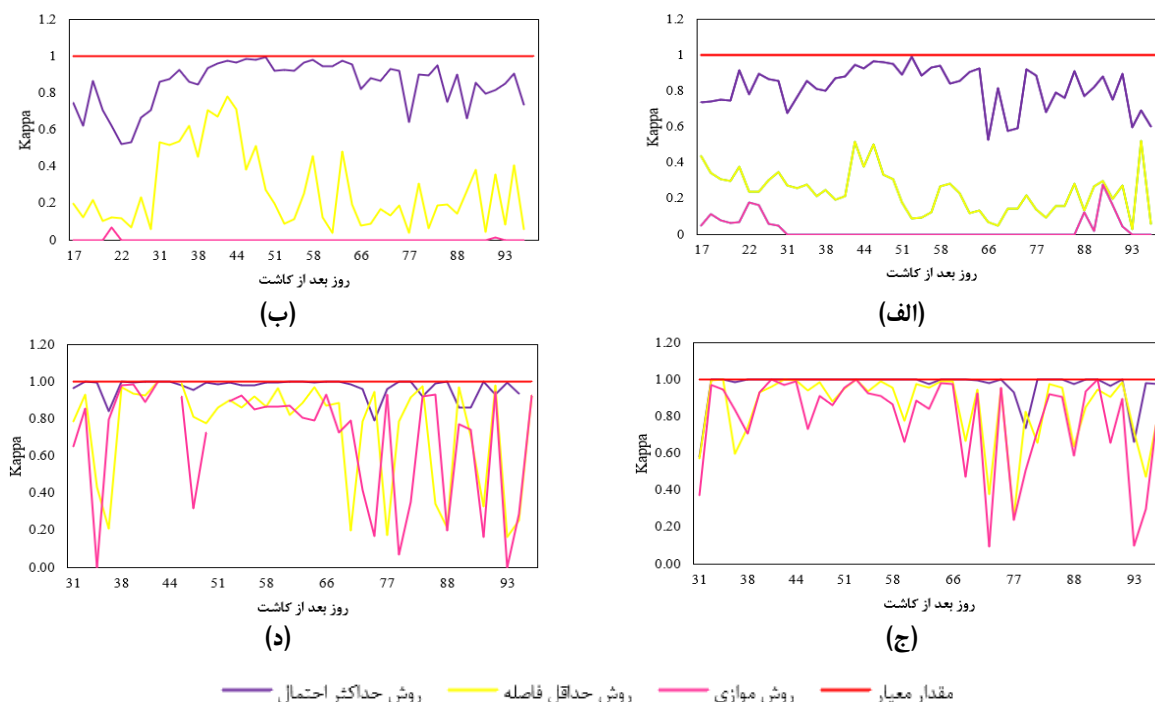
به منظور ارزیابی کمی روش‌های کلاس‌بندی در نرم‌افزار ENVI، شاخص‌های ضریب کاپا، دقت کلی، Commission و Omission بررسی شد. مقدار بهینه برای ضریب کاپا عدد ۱ است. همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد در طول فصل کشت ضریب کاپا در هر ۴ تیمار بررسی شده توسط هر سه روش کلاس‌بندی مورد استفاده در کلاس بندی توسط ENVI دارای نوسان است. با توجه به افزایش تعداد اشیا مختلف در هر سین تصویر در تصویربرداری از بالا به پایین نسبت به تصویربرداری از پایین به بالا (مانند اپراتور، اجزا تصویربرداری و غیره)، در کلاس بندی در حالت تصویربرداری از پایین به بالا (شکل ۳- ج و د) نتایج نسبت به تصویربرداری از بالا به پایین (شکل ۳-)

الف وب) مطلوب تر بوده است. در تصویربرداری از بالا به پایین بدون لنز متوسط ضریب کاپا در روش های طبقه بندی حداکثر احتمال، حداقل فاصله و موازی به ترتیب ۰/۸۲، ۰/۲۴ و ۰/۰۳؛ در تصویر برداری از بالا به پایین با لنز به ترتیب برابر با ۰/۸۵، ۰/۲۷ و ۰؛ در تصویر برداری از پایین به بالا بدون لنز به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۸۵ و ۰/۷۸ و در تصویر برداری از پایین به بالا با لنز نیز به ترتیب برابر با ۰/۹۷، ۰/۷۳ و ۰/۶۶ بود. بنابراین نتایج حاصل از طبقه بندی با استفاده از روش حداکثر احتمال نسبت به روش حداقل فاصله و روش موازی به مقدار بهینه (که ۱ است) نزدیکتر است.

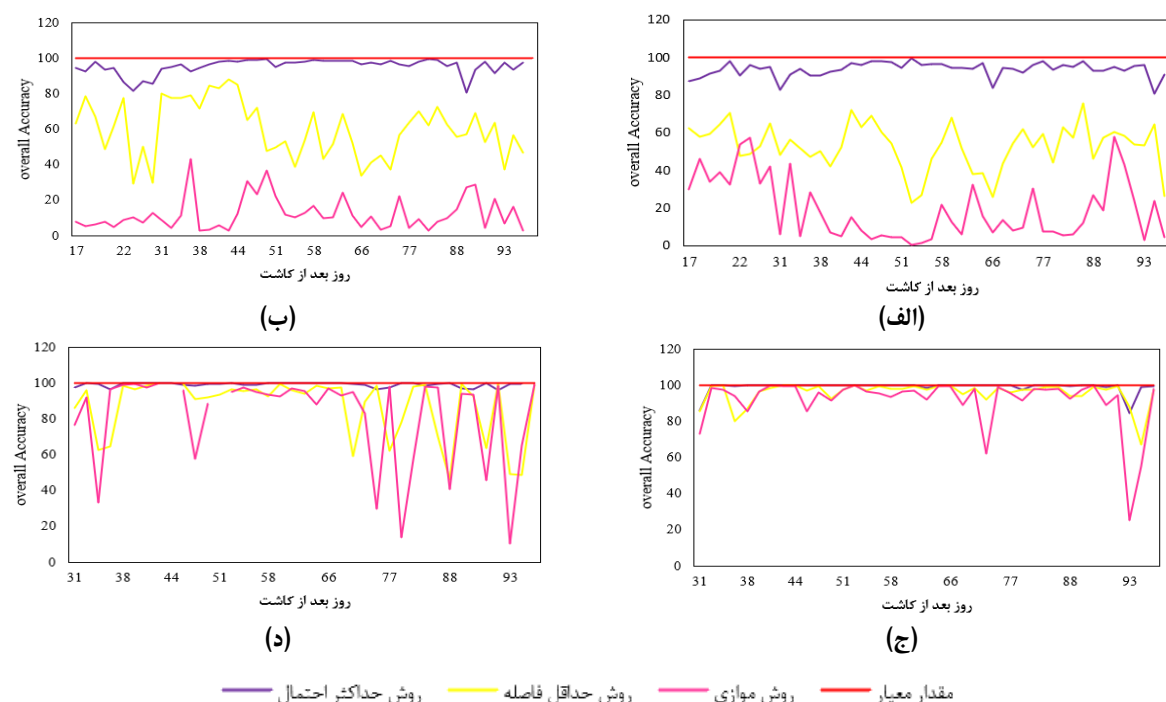


شکل ۲. کلاس بندی تصویر ثبت شده ۶۶ روز بعد از کشت توسط ENVI؛ الف) تصویر کلاس بندی شده با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال، ب) تصویر کلاس بندی شده با استفاده از الگوریتم حداقل فاصله و ج) تصویر کلاس بندی شده با استفاده از روش موازی

از آنجایی که ضریب کاپا به تنهایی نماینده خوبی برای اتخاذ روش مناسب نمی باشد، دقت کلی نیز مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴). دقت کلی بیانگر پیکسل هایی است که به درستی کلاس بندی شده اند. همانند ضریب کاپا در طول فصل کشت، دقت کلی نوسان داشت. در بررسی تیمارهای مختلف در تصویر برداری از پایین به بالا نسبت (شکل ۴- ج ود) به تصویر برداری از بالا به پایین (شکل ۴- الف وب)، دقت کلی نتایج مطلوبتری داشت که از جمله دلایل آن می توان به کاهش اشیا موجود در سین تصویر در تصویربرداری از پایین به بالا است. مقدار متوسط دقت کلی در روش کلاس بندی حداکثر احتمال در تصویربرداری از بالا به پایین بدون لنز برابر با ۹۳/۶۶، تصویربرداری از بالا به پایین با لنز برابر با ۹۵/۳۸، تصویربرداری از پایین به بالا بدون لنز برابر با ۹۹/۰۵ و در تصویر برداری از پایین به بالا با لنز برابر با ۹۹/۱۴ بود. مقدار دقت کلی در کلاس بندی توسط روش حداکثر احتمال نسبت به سایر روش ها مقدار بیشتری داشت.

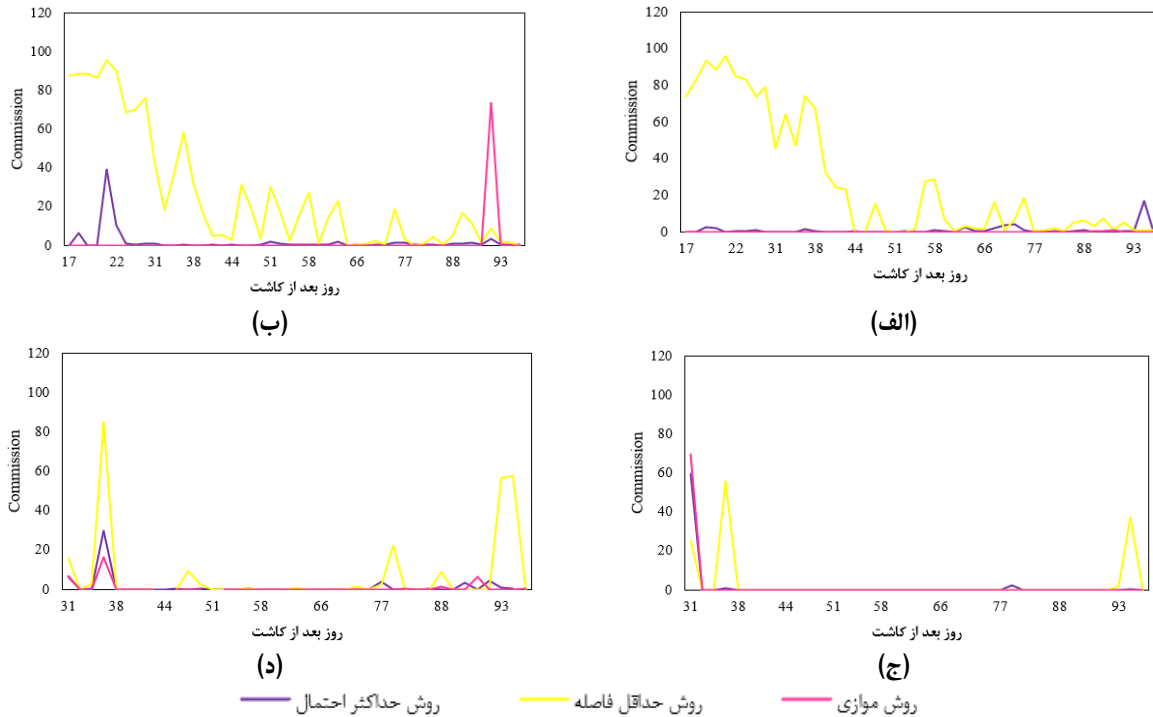


شکل ۳. نوسانات ضریب کاپا (Kappa) در روش‌های کلاس‌بندی مورد استفاده توسط نرم افزار ENVI در تیمارهای: الف) تصویر برداری از بالا به پایین بدون لنز، ب) تصویر برداری از بالا به پایین با لنز، ج) تصویر برداری از پایین به بالا بدون لنز، د) تصویر برداری از پایین به بالا با لنز



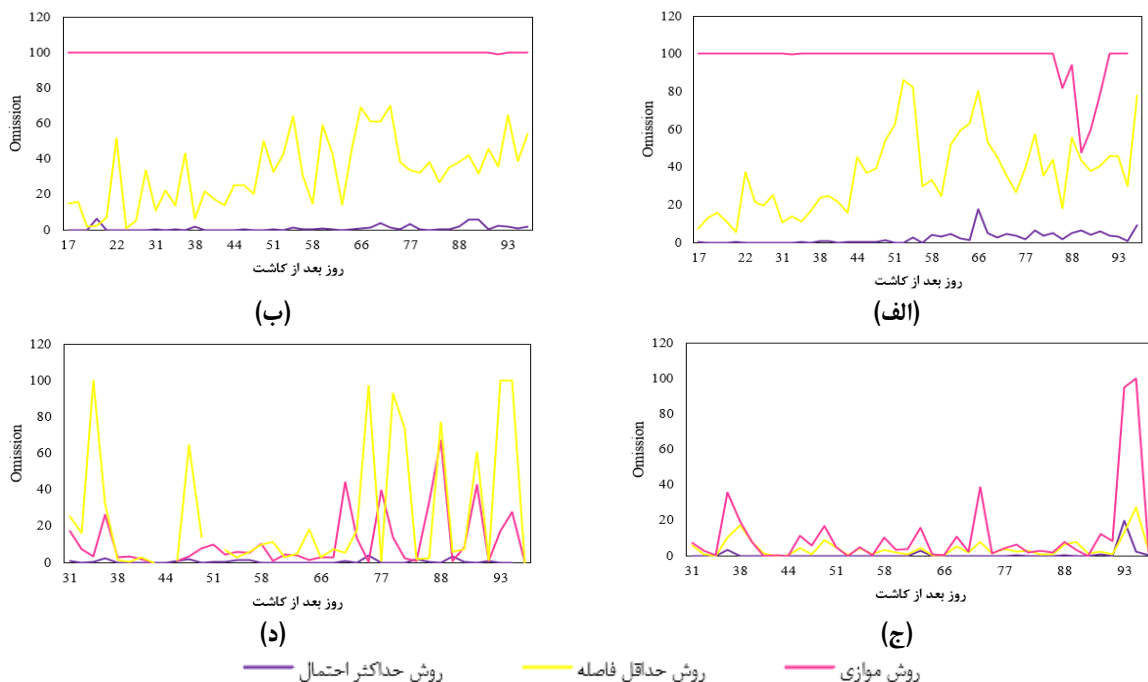
شکل ۴. نوسانات دقت کلی (Overall Accuracy) در روش‌های کلاس‌بندی مورد استفاده توسط نرم افزار ENVI در تیمارهای: الف) تصویر برداری از بالا به پایین بدون لنز، ب) تصویر برداری از بالا به پایین با لنز، ج) تصویر برداری از پایین به بالا بدون لنز، د) تصویر برداری از پایین به بالا با لنز

از آنجایی که دقت کلی در برآورد دقت کلی تنها پیکسل‌هایی که به درستی کلاس‌بندی شده‌اند در نظر گرفته شده‌است، شاخص نامبرده معیار مناسبی برای ارزیابی روش‌های کلاس‌بندی تصویر نمی‌باشد. از این رو ضرایب خطای Commission و Omission نیز مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۵ و ۶). در تصویر برداری از بالا به پایین بدون لنز حداکثر خطای Commission در روش‌های کلاس‌بندی حداکثر احتمال، حداقل فاصله و موازی به ترتیب ۱۷/۰۷، ۹۶/۰۶ و ۰/۹۴؛ در تصویر برداری از بالا به پایین با لنز به ترتیب برابر با ۳۹/۴۹، ۹۵/۷۲ و ۷۳/۷۲؛ در تصویر برداری از پایین به بالا بدون لنز به ترتیب ۵۹/۴۴، ۵۵/۶۱ و ۶۹/۴۱ و در تصویر برداری از پایین به بالا با لنز نیز به ترتیب برابر با ۲۹/۵۶، ۸۵/۱۸ و ۱۶/۴۱ بود.



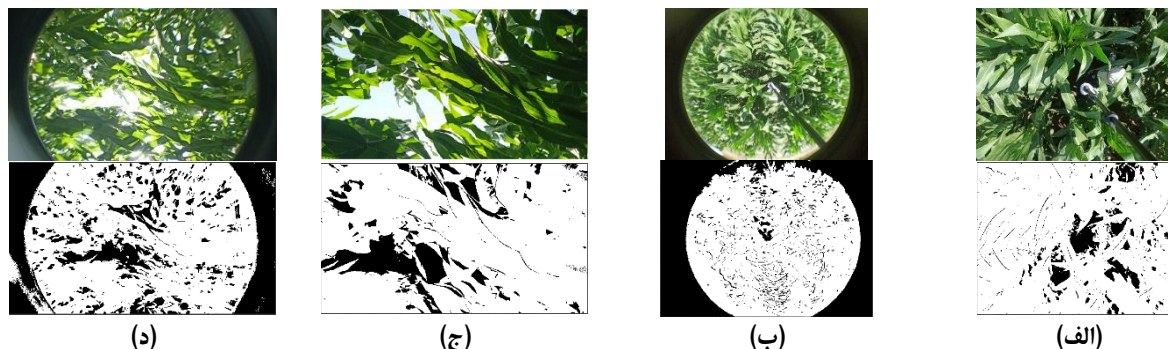
شکل ۵. نوسانات Commission در روش‌های کلاس‌بندی مورد استفاده توسط نرم افزار ENVI در تیمارهای: (الف) تصویر برداری از بالا به پایین بدون لنز، (ب) تصویر برداری از بالا به پایین با لنز، (ج) تصویر برداری از پایین به بالا بدون لنز، (د) تصویر برداری از پایین به بالا با لنز

در تصویر برداری از بالا به پایین بدون لنز حداکثر خطای Omission در روش‌های کلاس‌بندی حداکثر احتمال، حداقل فاصله و موازی به ترتیب ۱۷/۹۶، ۸۶/۰۵ و ۱۰۰؛ در تصویر برداری از بالا به پایین با لنز به ترتیب برابر با ۶/۳۳، ۷۰/۰۶ و ۱۰۰؛ در تصویر برداری از پایین به بالا بدون لنز به ترتیب ۱۹/۶۳، ۲۷/۰۹ و ۱۰۰ و در تصویر برداری از پایین به بالا با لنز به ترتیب برابر با ۴، ۶۷/۱۳ و ۱۰۰ بود. بنابراین مقدار خطای Commission و Omission در تصویر برداری از پایین به بالا نسبت به تصویر برداری از بالا به پایین بیشتر بوده است. در هر سه روش بررسی شده مقدار خطای Commission و Omission در کلاس‌بندی با روش حداکثر احتمال نسبت به سایر روش‌ها کمتر بوده است.



شکل ۶. نوسان Omission در روش‌های کلاس‌بندی مورد استفاده توسط نرم افزار ENVI در تیمارهای: (الف) تصویر برداری از بالا به پایین بدون لنز، (ب) تصویر برداری از بالا به پایین با لنز، (ج) تصویر برداری از پایین به بالا بدون لنز، (د) تصویر برداری از پایین به بالا با لنز

از آنجا که یکی از ابزارهای تعیین CC در سطح دنیا، استفاده از نرم‌افزار Canopeo است، با بررسی بصری و ارزیابی کیفی نتایج حاصل از مدل Canopeo می‌توان دریافت که مدل در تشخیص پوشش گیاهی در تمامی تیمارها توانمند بوده و دقت بالایی برخوردار می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۷. تبدیل تصاویر (الف) از بالا به پایین بدون لنز، (ب) بالا به پایین با لنز چشم ماهی، (ج) پایین به بالا بدون لنز چشم ماهی و (د) پایین به بالا با لنز چشم ماهی، ۶۶ روز بعد از کشت به تصاویر باینری به‌منظور تعیین CC توسط نرم‌افزار Canopeo

بررسی مقدار CC

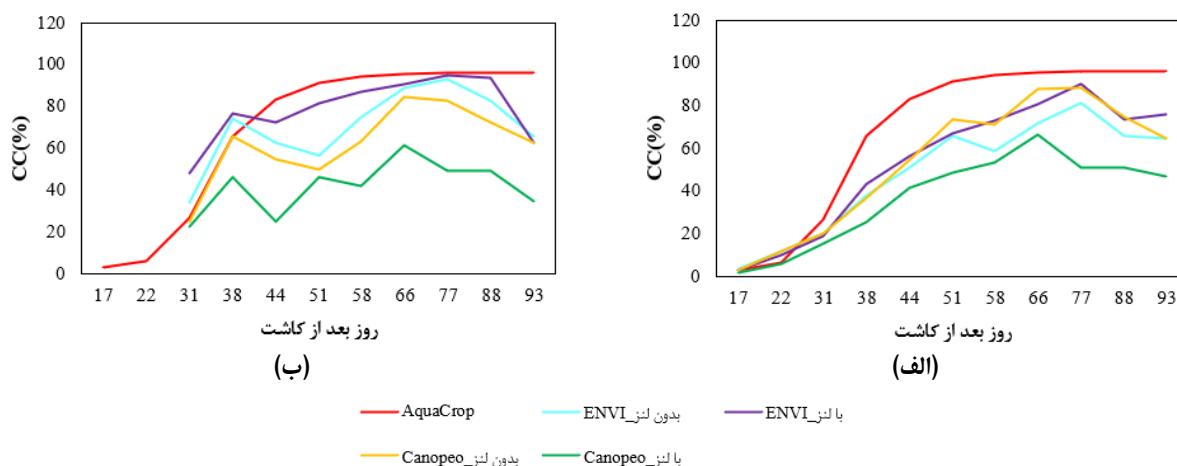
با توجه به عملکرد مناسب روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال در تعیین سطح سایه‌انداز توسط نرم‌افزار ENVI، پس از اجرای مدل AquaCrop برای شرایط استاندارد و بدون تنش در مزرعه تحت بررسی مقدار RMSE و R بین مقدار سطح سایه‌انداز برآورد شده از نرم‌افزار ENVI و Canopeo با مقدار سطح سایه‌انداز گزارش شده توسط مدل گیاهی بررسی شد (جدول ۲). شاخص آماری RMSE بیانگر مقدار خطای موجود بوده و حداقل بودن این شاخص در ارزیابی آماری مطلوب محسوب می‌شود. حداقل مقدار RMSE به ترتیب مربوط به سطح سایه‌انداز برآورد شده توسط نرم‌افزار Canopeo در تصویر برداری از پایین به بالا با لنز (۹/۹۲) بود. حداکثر مقدار RMSE نیز به ترتیب برابر با ۲۴/۲۸ و ۲۰/۹۴ در دو تیمار تصویربرداری از بالا به پایین بدون لنز (ENVI) و با لنز (Canopeo) بود. مقدار ضریب R در تمامی تیمارها مطلوب بوده حداکثر مقدار آن در تیمار تصویر برداری از بالا به پایین بدون لنز (ENVI) برابر با ۰/۹۷ بود. به طور کلی می‌توان دریافت که تصویر برداری پایین به بالا بدون لنز (Canopeo) ($R = 0/8$ و $RMSE = 11/81$) و تصویربرداری از بالا به پایین با لنز (ENVI) ($R = 0/82$ و $RMSE = 13/26$) نسبت به سایر حالت‌ها در تعیین سطح سایه‌انداز توانمندتر بوده‌اند. همچنین در تعیین سطح سایه‌انداز نتایج حاصل از تصویربرداری از پایین به بالا نسبت به تصویر برداری از بالا به پایین از دقت بیشتری برخوردار بوده‌است. همچنین به‌طور کلی نتایج حاصل از مدل Canopeo نسبت به ENVI به جز در حالت تصویر برداری از بالا به پایین با لنز از دقت بیشتری برخوردار است. از جمله دلایل کاهش دقت در این حالت می‌توان وجود اعوجاج در تصویر به دلیل نصب لنز همچنین وجود اشیا بیشتر از جمله اپراتور تصویر بردار، خاک، گیاه و ابزار در تصویر ثبت شده اشاره نمود.

جدول ۲. ارزیابی آماری نتایج حاصل از تعیین سطح سایه‌انداز توسط ENVI و Canopeo

R	RMSE	ویژگی
۰/۹۷	۲۴/۲۸	بدون لنز از بالا به پایین (ENVI)
۰/۸۳	۱۹/۴۳	بدون لنز از بالا به پایین (Canopeo)
۰/۷۸	۱۵/۶۰	بدون لنز پایین به بالا (ENVI)
۰/۸۰	۱۱/۸۱	بدون لنز پایین به بالا (Canopeo)
۰/۸۲	۱۳/۲۶	با لنز از بالا به پایین (ENVI)
۰/۷۶	۲۰/۹۴	با لنز از بالا به پایین (Canopeo)
۰/۷۹	۱۷/۳۱	با لنز پایین به بالا (ENVI)
۰/۶۸	۹/۹۲	با لنز پایین به بالا (Canopeo)

همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌گردد روند تغییرات در مقدار CC برآورد شده از تصاویر از بالا به پایین نسبت به تصاویر حاصل از پایین به بالا به مقادیر حاصل از مدل AquaCrop نزدیک است. تصاویر حاصل از پایین به بالا نوسانات در طول فصل کشت بیشتر

بوده اما مقادیر برآورد شده به مقادیر حاصل از مدل گیاهی نزدیکتر است. با توجه به اهمیت برآورد مقادیر در طول فصل کشت می‌توان دریافت که نتایج حاصل در تصویر برداری از پایین به بالا از دقت بیشتری برخوردار است (جدول ۲). دلیل این امر وجود کلاس‌های مختلف (اپراتور، خاک، علف‌های هرز و غیره) و کاهش دقت در تصویر برداری از بالا به پایین است. Govindasamy et al. (2022) نیز در پژوهشی مشابه دریافتند که مرحله رشد، ارتفاع محصول و بقایای مرده موجود از گیاه در تصاویر حاصل از بالا به پایین از جمله عوامل مهم در تعیین CC محسوب می‌شوند. از این رو با توجه به تاثیر ارتفاع گیاه در تخمین CC همانطور که در شکل ۸- الف مشاهده می‌گردد در روزهای اول پس از کشت اختلاف مقدار CC برآورد شده توسط روش‌های مختلف کم بوده و با رشد گیاه این اختلاف به حداکثر مقدار خود رسیده‌است. اما به‌طور کلی روند تغییرات CC در روش‌های مختلف همانند CC شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop بود. لازم به ذکر است که نتایج حاصل از Vanha et al. (2000) بیانگر این مسئله بود که تنوع گیاهان (زراعت و علف‌های هرز) بر دقت تخمین پوشش تاج پوشش با استفاده از تصاویر دیجیتال تأثیر گذار است. از این رو شاهد وجود اختلاف بیشتر در مقدار CC برآورد شده توسط روش‌های مختلف در تصاویر ثبت شده از بالا به پایین نسبت به تصاویر ثبت شده از پایین به بالا بودیم. همچنین با توجه به شکل ۸ می‌توان دریافت که علی‌رغم دقت بالای مدل AquaCrop در تخمین CC اما در مطالعه حاضر علی‌رغم ثبت طول دوره رشد گیاه مدل قادر به شبیه‌سازی کاهش مقدار CC پس از دوره بلوغ گیاه نیست. در CC تعیین شده توسط ENVI و Canopeo، پس از بلوغ گیاه (حداکثر شدن مقدار CC)، روند نمودارها کاهشی است. این مسئله نیز بیانگر بهبود دقت شبیه‌سازی برای رقم ذرت مورد بررسی در منطقه با استفاده از ENVI و Canopeo بود. مطالعات انجام شده توسط Lu et al. (2021) نیز بیانگر بهبود عملکرد و کاهش عدم قطعیت مدل AquaCrop با اعمال اطلاعات سطح سایه‌انداز بود.



شکل ۸. تغییرات مقدار CC، الف) تصاویر از بالا به پایین و ب) تصاویر از پایین به بالا

نتیجه‌گیری

برآورد دقیق و به موقع تغییرات زمانی و مکانی در رشد و عملکرد محصول قبل از برداشت برای تضمین امنیت غذایی جهانی ضروری است. از این رو ارزیابی سطح سایه انداز برای تخمین زیست توده و عملکرد دانه یک محصول مهم است، زیرا فعالیت فتوسنتزی یک محصول و سطح سایه انداز همبستگی دارند. در پژوهش حاضر به بررسی ۴ تیمار: تصویربرداری از بالا به پایین با لنز چشم ماهی، تصویربرداری از بالا به پایین بدون لنز چشم ماهی، تصویربرداری از پایین به بالا با لنز چشم ماهی و تصویربرداری از پایین به بالا بدون لنز چشم ماهی بررسی شد. برای کلاس‌بندی تصاویر حاصل از دو نرم‌افزار ENVI و Canopeo استفاده شد. برای کلاس‌بندی تصاویر در نرم‌افزار ENVI سه روش حداکثر احتمال، حداقل فاصله و موازی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی آماری دقت طبقه‌بندی سه روش مذکور بیانگر دقت مناسب روش حداکثر احتمال (به طور متوسط ضریب کاپا بیشتر از ۹۰٪، دقت کلی بیشتر از ۹۰٪، خطای Commission برابر با ۳۶٪ و خطای Omission برابر با ۱۲٪) بود. مقایسه نتایج حاصل از CC تعیین شده توسط دو نرم‌افزار ENVI و Canopeo با AquaCrop بیانگر: ۱) دقت بالاتر تخمین CC توسط مدل Canopeo نسبت به ENVI، ۲) افزایش خطا در تخمین CC توسط Canopeo در تصویربرداری توسط لنز چشم ماهی از بالا به پایین به دلیل افزایش اعوجاج و تنوع در اشیاء موجود در تصویر، ۳) افزایش دقت در تصویر برداری از پایین به بالا توسط لنز چشم ماهی در نرم‌افزار Canopeo به دلیل افزایش سطح تحت پوشش بود. در صورت بروز هرگونه تنش

شدید در مزرعه و یا اعمال مدیریت جدید برای بهبود برآورد عملکرد توسط AquaCrop توصیه می‌گردد؛ در مراحل ابتدایی رشد تصویر برداری از بالا به پایین و در مراحل انتهایی تصویر برداری از پایین به بالا صورت گرفته و از نتایج حاصل از پردازش تصاویر توسط Canopeo برای اجرای مدل استفاده گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از شرکت کشت و صنعت هزارجلفا و پژوهشگاه فضایی ایران که در پیشبرد پژوهش حاضر صمیمانه همکاری نموده، تشکر و قدردانی نمایند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

ادبی، وحید، عزیزیان قطار، اصغر، رضانی اعتدالی، هادی، کاویانی، عباس، آبابایی، بهنام (۱۳۹۸). آنالیز حساسیت موضعی مدل AquaCrop برای دو محصول گندم و ذرت در دو منطقه دشت قزوین و پارس آباد مغان. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*. ۶. ۱۵۶۵ - ۱۵۷۹

سعیدی، رضا، رضانی اعتدالی، هادی، ستوده‌نیا، عباس، نظری، بیژن، کاویانی، عباس (۱۴۰۰). ارزیابی مدل AquaCrop در برآورد روند تغییرات رطوبت خاک، تبخیر-تعرق و عملکرد ذرت، تحت تنش‌های شوری و حاصلخیزی. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*. ۱. ۱۹۵ - ۲۱۰.

هدایتی دزفولی، اکرم، کاکوند، رضا (۱۳۹۱). پهنه‌بندی اقلیمی استان قزوین. *مجله علمی و فنی نیوار*. ۷۶.

REFERENCES

- Adabi, V., Azizian, G. A., Ramezani, E. H., Kaviyani, A., Adabi, B. (2020). Local sensitivity analysis of AquaCrop model for Wheat and Maize in Qazvin plain and Moghan Pars_Abad in Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 13. 1565-1579. (In Persian).
- Bruinsma, J. (2017). World agriculture: Towards 2015/2030: an FAO study. 1-431. <https://doi.org/10.4324/9781315083858>.
- Erenstein, O., Jalet, M., Sonder, K., Mottaleb, K., Prasanna, B. M. (2022). Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Food Security*. 14. 1295-1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>.
- FAO. (2012). Reference Manual, Chapter 3 – AquaCrop, Version 4.0.
- Garcia, M. H., Flores, M. H., Ascencio, H. R., Khalil, G. A., Tijerina, C. L., Mancilla, V. O. R., Vazquez, P. M. A. (2020). Corn grain yield estimation from vegetation indices, canopy cover, plant density, and a neural network using multispectral and RGB images acquired with unmanned aerial vehicles. *Agriculture*. 10. 1-24.
- Goodwin, A. W., Lindsey, L. E., Harrison, S. K., & Paul, P. A. (2018). Estimating Wheat Yield with Normalized Difference Vegetation Index and Fractional Green Canopy Cover. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 4. 1–6.
- Govindasamy, P., Mahawer, S. K., Sarangi, D., Halli, H. M., Das, T. K., Raj, R., Pooniya, V., Muralikrishnan, L., Kumar, S., Chandra, A. (2022). The Comparison of Canopeo and SamplePoint for Measurement of Green Canopy Cover for Forage Crops in India. *MethodsX*.
- Hedayati, D. A., & Kakavand, R. (2012). Climatic zoning of Qazvin province. *NIVAR*, 36(77). (In Persian)
- Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, 22(4), 679–688. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.001>
- Jorenush, M. H., Nasab, S. B., Taghvaeian, S., Pakparvar, M., & Sherbafi, A. (2022). Evaluation of wheat canopy cover using NDVI in large areas of Iran. *Iran Agricultural Research*. 41.1-8.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). Remote Sensing and Image Interpretation. *John Wiley & Sons*.
- Lu, Y., Chibarabada, T. P., Ziliani, M. G., Onema, J. M. K., McCabe, M. F., Sheffield, J. (2021). Assimilation of soil moisture and canopy cover data improves maize simulation using an under-calibrated crop model. *Agricultural Water Management*, 252. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106884>
- Luiz, J., De Souza, M., Tamiris De Oliveira, C., Lais, S., Rosa, K., Tsukahara, R. Y. (2022). Sensitivity analysis of AquaCrop model for maize crop in a humid subtropical climate in Brazil. *CIGR Journal*. 24.
- McHugh, M. (2012). Interrater_reliability_The_kappa_statistic. *Biochemia Mwdica*, 22(3), 276–282.



- Nielsen, D. C., Miceli-Garcia, J. J., & Lyon, D. J. (2012). Canopy cover and leaf area index relationships for wheat, triticale, and corn. *Agronomy Journal*, 104(6), 1569–1573.
- Patrignani, A., & Ochsner, T. E. (2015). Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. *Agronomy Journal*, 107(6), 2312–2320.
- Pearson, K. (1997). Mathematical Contributions to the Theory of Evolution.–On a Form of Spurious Correlation Which May Arise When Indices Are Used in the Measurement of Organs. *Proceedings of the Royal Society of London*, 60, 489–498.
- Saedi, R., Ramezani E, H., Sotoodeh N, A., Nazari, B., & Kaviyani, A. (2021). Evaluation of the AquaCrop model in estimating the trend of changes in soil moisture, evaporation-transpiration and corn yield under salinity and fertility stresses. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. (In Persian)
- Shan, Y., Li, G., Su, L., Zhang, J., Wang, Q., Wu, J., Mu, W., & Sun, Y. (2022). Performance of AquaCrop Model for Maize Growth Simulation under Different Soil Conditioners in Shandong Coastal Area, China. *Agronomy*, 12(7), 1541.
- Sodari, L., Alam, J., & Das, K. K. (2021). Performance Assessment of Aquacrop Model for Estimating Canopy Cover, Aboveground Biomass and Grain Yield of Winter Wheat in Saptari District: An Application to Irrigation Management. *Proceedings of 9th IOE Graduate Conference*.
- Vanha, M, I., Salemaa, M., Tuominen, S., & Mikkola, K. (2000). Digitized photographs in vegetation analysis - a comparison of cover estimates. *Applied Vegetation Science*, 3(1), 89–94.
- Wang, G., Mehmood, F., Zain, M., Hamani, A. K. M., Xue, J., Gao, Y., & Duan, A. (2022). AquaCrop Model Evaluation for Winter Wheat under Different Irrigation Management Strategies: A Case Study on the North China Plain. *Agronomy*, 12(12), 3184.
- Xing, H., XU, X., LI, Z., Chen, Y., Feng, H., Yang, G., & Chen, Z. (2017). Global sensitivity analysis of the AquaCrop model for winter wheat under different water treatments based on the extended Fourier amplitude sensitivity test. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(11), 2444–2458. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61626-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61626-X)