



Original Research Paper

UAV-Based Remote Sensing for Monitoring Biological Stresses in Trees

Nikrooz Bagheri *  and Jalal Khfashan

Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 01 October 2025

Revised 12 November 2025

Accepted 16 November 2025

Available Online 02 December 2025

Keywords:

Biological hazards

Intelligent agriculture

Orchard monitoring

Remote sensing

Unmanned aerial vehicle

ABSTRACT

The application of remote sensing in scientific research and operational fields is on the rise. In the past decade, the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing has reached a significant stage. This technology's diverse applications have opened new opportunities for precision and intelligent agriculture. One of the key issues in advanced agriculture is measuring and monitoring tree biological stresses, such as water stress, nutritional stress, and pest and disease stress. By addressing these stresses, orcharders can reduce damage, predict yields, and manage production more effectively. As a result, UAV remote sensing systems are increasingly replacing traditional methods of risk assessment for biological stresses in orchards. Given the global nature of research in this field, there is a need to summarize findings, identify challenges, and provide technical recommendations regarding the application of the technology. This study represents the first comprehensive review of research on UAV monitoring of biological stresses in orchard trees, extracted from reliable citation databases. The results of the survey of active countries in this field, types of trees, parameters, platforms, sensors, data analysis methods, technical recommendations, advantages, and limitations were also analyzed. Additionally, it provides technical recommendations, along with detailing the advantages and limitations of UAV monitoring. The findings of this study can serve as a valuable guide for managers, researchers, and experts in the field.

* Corresponding Author's E-mail: n.bagheri@areeo.ac.ir

How to Cite this Article:

N. Bagheri and J. Kafashan, "UAV-based remote sensing for monitoring biological stresses in trees," *Journal of Technology in Aerospace Engineering*, Vol. 10, No. 3, pp. 17-31, 2026, (in Persian), <https://doi.org/10.22034/jtae.2026.10.3.2>.

**COPYRIGHTS**

© 2026 by the authors. Published by ARI. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of [The Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



تحلیل کاربرد فناوری سنجش از دور هوایی بر پایه پهپاد برای پایش تنش‌های زیستی درختان

نیکروز باقری^{۱*} و جلال کفاشان^۲

۱- عضو هیئت علمی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲- کارشناس، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

کاربرد سنجش از دور در زمینه‌های علمی، پژوهشی و اجرایی در حال رشد است. در دهه اخیر، استفاده از پرنده هدایت‌پذیر از دور (پهپاد) برای سنجش از دور وارد مرحله جدیدی شده است. کاربردهای متنوع این فناوری باوجود ویژگی‌های خاص آن برای کشاورزی دقیق و هوشمندسازی پنجره‌ای نو باز کرده است. سنجش و پایش تنش‌های زیستی درختان شامل تنش آبی، تنش تغذیه‌ای، و تنش آفات و بیماری‌ها، به‌منظور کاهش خسارت، پیش‌بینی عملکرد، و مدیریت تولید از مهم‌ترین موضوع‌های کشاورزی پیشرفته است. همچنین، اهمیت حفظ زندگی درختان با هدف تولید غذا، و نوشیدنی و کمک به کاهش آلودگی هوا انکارناپذیر است. بنابراین، طبیعی است که پایش باغ‌ها با روش‌های نوین در حال جایگزینی با روش‌های مرسوم ارزیابی تنش‌های زیستی شود. باتوجه به پراکندگی پژوهش‌های انجام شده در جهان، جمع‌بندی نتایج پژوهش‌ها، شناسایی چالش‌ها، و ارائه توصیه‌های فنی در خصوص کاربرد این فناوری ضروری است. پژوهش حاضر، نخستین بررسی جامع پژوهش‌ها در زمینه پایش پهپادی تنش‌های زیستی درختان باغی مستخرج از پایگاه‌های استنادی معتبر است. همچنین، در این مطالعه کشورهای فعال در این حوزه، انواع درختان و نوع تنش‌های زیستی بررسی شده، سکوها و سنجنده‌ها به کاررفته، روش‌های تحلیل داده‌ها، توصیه‌های فنی، مزایا و محدودیت‌های این حوزه واکاوی شد. براساس نتایج، کشورهای اسپانیا، چین، آمریکا، ایران و فرانسه بیش از سایر کشورها در این زمینه پژوهش کرده‌اند. در مجموع، ۱۲ نوع درخت باغی مطالعه شده و ۷۰ درصد از پژوهش‌ها بر پایش تنش‌های درختان مرکبات، زیتون، سیب، هلو و انگور متمرکز بوده است. پهپادهای چند چرخانه و سنجنده‌های چندطیفی بیشترین کاربرد را در داده‌برداری داشته‌اند. بیشترین تنش بررسی شده، تنش بیماری‌های گیاهی با ۵۴ درصد فراوانی است. همچنین، جمع‌بندی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که کاربرد روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای تشخیص تنش‌های گیاهی، در حال افزایش است.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۰۹ مهر ۱۴۰۴
بازنگری ۲۱ آبان ۱۴۰۴
پذیرش ۲۵ آبان ۱۴۰۴
اولین انتشار ۱۱ آذر ۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:

پایش پهپادی
پرنده بدون سرنشین
تنش‌های زیستی
سنجش از دور
کشاورزی هوشمند

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: n.bagheri@areeo.ac.ir

How to Cite this Article:

N. Bagheri and J. Kafashan, "UAV-based remote sensing for monitoring biological stresses in trees," *Journal of Technology in Aerospace Engineering*, Vol. 10, No. 3, pp. 17-31, 2026, (in Persian), <https://doi.org/10.22034/jtae.2026.10.3.2>.



COPYRIGHTS

© 2026 by the authors. Published by ARI. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of [The Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



۱. مقدمه

بر اساس آمارنامه سال ۱۴۰۲، سطح زیرکشت محصولات باغی در کشور ۳۰۲۴۳۰ هکتار و مقدار تولید ۲۵۶۲۲۰۷۴ تن گزارش شده است [۱]. گرچه سطح زیرکشت و مقدار تولید محصولات باغی کمتر از محصولات زراعی کشور است، اما ارزش اقتصادی این محصولات زیاد بوده و آن‌ها سهم زیادی را در توسعه صادرات محصولات کشاورزی و ارزآوری دارند. برای مثال، نتایج تحلیل علمی-آماري گزارش خبري آبان ماه سال ۱۴۰۳ از گمرک ایران در خصوص ارزش صادراتی محصولات کشاورزی در هفت ماهه اول سال ۱۴۰۳ نشان داد، که پنج قلم از محصولات کشاورزی صادراتی عمده، شامل پسته با ۶۱۴ میلیون دلار ارزش، انواع گوجه‌فرنگی با ارزش ۲۲۶ میلیون دلار، هندوانه با ارزش ۱۳۹ میلیون دلار، سیب با ارزش ۱۲۴ میلیون دلار و انواع خرما با ارزش ۱۲۳ میلیون دلار بودند [۲]. بنابراین، در این بازه زمانی سهم محصولات باغی در بین محصولات کشاورزی صادراتی بیش از ۷۰ درصد است. همچنین، براساس این گزارش ارزش صادراتی محصولات کشاورزی در هفت ماهه اول سال ۱۴۰۳ در مقایسه با سال گذشته افزایش ۲۸ درصدی داشته و ارزش صادرات برابر با ۲/۲ میلیارد دلار بوده است. از سوی دیگر، مقدار محصولات کشاورزی صادر شده در همین مدت نیز ۳/۸ میلیون تن بوده که نسبت به مدت مشابه سال پیش ۱۶ درصد افزایش داشته است. بنابراین، محصولات باغبانی از نظر اقتصادی دارای ارزش زیادی بوده و تولید محصولات بیشتر و با کیفیت بالاتر، کاملاً توجیه‌پذیر و سودآور است.

یکی از راه‌های افزایش عملکرد محصولات باغی، پایش مداوم باغ و تشخیص تنش‌های پیش‌روست. برای دستیابی به این هدف، نیاز به جمع‌آوری داده‌های به‌روز است. سنجش از دور می‌تواند داده‌ها را به‌طور گسترده، سریع و دقیق فراهم کند. این فناوری از سکوه‌های مختلفی برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده می‌کند. این سکوها شامل سکوه‌های فضایی (ماهواره‌ها)، سکوه‌های هوایی (از جمله پهپاد بال‌ثابت و چند چرخانه، بالگرد، هواپیما) و سکوه‌های زمینی (از جمله ایستگاه‌های ثابت، ماشین‌های کشاورزی و ربات‌ها) هستند.

کاربرد ماهواره‌ها برای سنجش از دور به اوایل دهه ۷۰ میلادی برمی‌گردد؛ زمانی که ماهواره لندست در سال ۱۹۷۲ میلادی به فضا پرتاب شد. این ماهواره تصاویر را در باندهای سبز، قرمز و مادون‌قرمز نزدیک با قدرت تفکیک ۸۰ متر و در فاصله زمانی ۱۸ روزه برداشت می‌کرد. از این تصاویر برای اولین بار در تفکیک مزارع ذرت و سویا استفاده شد. پس از آنان ماهواره‌های دیگری در مدار زمین قرار گرفت. امروزه، قدرت تفکیک تصاویر از هشتاد متر به زیر

یک متر بهبود یافته است. همچنین، فاصله زمانی بین برداشت دو تصویر از یک موقعیت خاص، از ۱۸ روز به ۱ روز کاهش یافته است. تعداد باندهای طیفی در دسترس نیز، از چهار باند با عرض باند بزرگ‌تر از ۶۰ نانومتر به بیش از ۸ باند با عرض بیشتر از ۴۰ نانومتر بهبود یافته است [۳]. در شکل ۱، تفکیک‌پذیری سکوه‌های گوناگون با هم مقایسه شده است.

ماهواره‌ها دارای محدودیت‌هایی هستند که کاربرد آن‌ها را در مطالعات کشاورزی محدود کرده است. از جمله محدودیت‌ها می‌توان به زمان‌بر بودن تهیه و دریافت اغلب تصاویر ماهواره‌ای، کم بودن قدرت تفکیک مکانی، طیفی و زمانی، گران بودن تصاویر با قدرت تفکیک مکانی زیاد [۴]، نیاز به تصحیح اتمسفری، مشکل بودن هم‌زمانی برداشت تصویر و نمونه‌برداری زمینی، و تحت تأثیر شرایط جوی بودن [۵، ۶] اشاره کرد. در سال‌های اخیر، کاربرد سکوه‌های سنجش از دور هوایی در کشاورزی افزایش یافته است. سکوه‌های هوایی در مقایسه با ماهواره‌ها، انعطاف‌پذیرتر بوده و قابلیت جمع‌آوری داده‌ها را در بازه زمانی و با قدرت تفکیک مکانی بهتری فراهم می‌کنند. از سوی دیگر، کاربرد سکوه‌های هوایی شامل سامانه‌های هوایی سرنشین‌دار (هواپیما و بالگرد) برای جمع‌آوری داده‌ها به دلیل هزینه زیاد و نیاز به باند یا سکوی پرواز گسترده نیست. بنابراین، سامانه‌های بدون سرنشین هوایی در کشاورزی بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. گفتنی است سکوه‌های زمینی با وجود داشتن دقت بیشتر در جمع‌آوری داده‌ها، به دلیل پایش نقطه‌ای و پوشش اندک سطوح، کاربرد محدودی در داده‌برداری کشاورزی دارند [۷].

از مزایای پهپاد می‌توان به قابلیت تعریف مأموریت پروازی پیش از پرواز، قابلیت کنترل پرنده از راه دور [۸]، برداشت تصاویر با قدرت تفکیک مکانی، طیفی و زمانی زیاد، هزینه عملیاتی کمتر نسبت به ماهواره‌ها و هواپیماهای سرنشین‌دار، اشاره کرد [۹-۱۱]. امروزه کاربرد پهپادهای غیرنظامی در جهان در حال افزایش است [۱۲] و تجارت چند ده میلیارد دلاری در تولید و فروش محصولات پهپادی و الزامات جانبی آن وجود دارد [۱۳]. با کاهش ارتفاع تصویربرداری (کاهش دامنه دید) قدرت تفکیک مکانی تصویر افزایش می‌یابد. بنابراین، پهپاد در مقایسه با دو نوع سکوی دیگر، دارای بهترین قدرت تفکیک مکانی است.

اندازه بازار پهپادهای کشاورزی در جهان از سال ۲۰۲۲ تا ۲۰۳۲ در شکل ۱ ارائه شده که نشان می‌دهد اندازه بازار پهپادهای کشاورزی در جهان رقم قابل توجهی از یک تا هفت میلیارد دلار داشته و نرخ رشد مرکب سالانه این بازار حدود ۲۱ درصد است [۱۴]. تحلیل روند بازار نشان می‌دهد که تقاضا برای محصولات پهپادی برای فعالیت‌های

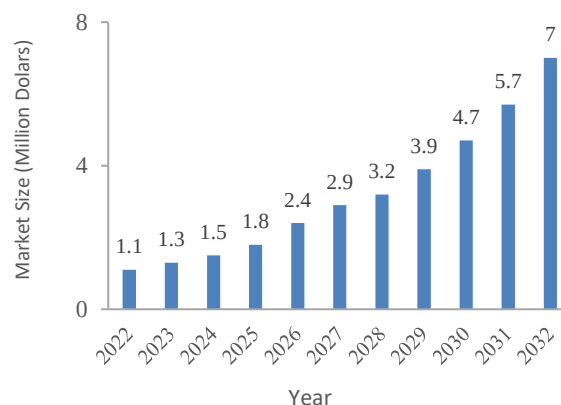
- تحلیل، خلاصه‌سازی و ارائه درک روشنی از فراوانی پژوهش‌ها و کاربرد فناوری پایش پهپادی در حوزه تنش زیستی درختان باغ‌ها.
- افزایش آگاهی کارشناسان و مدیران نسبت به قابلیت‌های متفاوت فناوری پهپادی و تبیین چالش‌های موجود و مرتبط.

۲. روش پژوهش

این مطالعه به روش اسنادی انجام شد. نتایج پژوهش‌های مرتبط با پایش تنش‌های درختان باغی با استفاده از فناوری سنجش از دور هوایی با پهپاد و منتشر شده در قالب مقاله‌های علمی-پژوهشی معتبر، به دو زبان فارسی (تا سال ۱۴۰۳) و انگلیسی (تا سال ۲۰۲۴) در پایگاه‌های استنادی معتبر جست‌وجو شد. برای مقاله‌های انگلیسی، کلیدواژه‌های "UAV"، "UAS"، "Unmanned aerial vehicle"، "Aerial remote sensing"، "Orchard trees"، "Disease detection"، "Monitoring"، "Detection"، "stress"، "Nitrient"، "Web of Science" (WoS) بررسی شد. برای مقاله‌های فارسی کلیدواژه‌های "پهپاد"، "سنجش از دور هوایی"، "درختان باغی"، "پرنده بدون سرنشین"، "تنش‌های گیاهی"، "در پایگاه‌های SID و Civilica جست‌وجو شد. پس از جمع‌آوری، مقاله‌های تکراری حذف شد. در مجموع ۲۹ مقاله که موضوع آن‌ها تشخیص، یا برآورد تنش‌های زیستی شامل تنش‌های آبی، تنش تغذیه‌ای، و تنش آفات و بیماری روی درختان باغی بود، برای تحلیل انتخاب شدند.

پس از جمع‌آوری مقاله‌ها، اطلاعات لازم از هر مقاله استخراج شد. این اطلاعات شامل نام نویسندگان، سال انتشار مقاله، کشور، نوع درخت، نوع تنش زیستی، نوع پهپاد و دوربین استفاده شده، و روش تحلیل داده‌ها بود. سپس دسته‌بندی داده‌ها و تحلیل آماری آن‌ها به روش توصیفی انجام شد (تنش‌های مورد مطالعه به سه دسته تنش آبی، تنش تغذیه و تنش آفات و بیماری‌ها تفکیک شدند. سپس برای هر تنش، نوع درختان باغی مورد مطالعه، سکوها و سنجنده‌های به کار گرفته شده شناسایی و دسته‌بندی شدند. در ادامه، روش‌های تحلیل داده‌ها به دو دسته کلی: روش‌های تحلیل آماری و یادگیری ماشین تقسیم شدند. روش‌های یادگیری ماشین نیز خود به دو نوع روش‌های یادگیری ماشین کلاسیک و مدرن تقسیم شدند. اطلاعات جمع‌آوری شده از مقاله‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌است.

کشاورزی رو به افزایش است. از این رو، ضروری است تا زنجیره پژوهش‌های این زمینه تکمیل شده تا بهره‌برداران بتوانند با شیوه‌ای اصولی از این فناوری استفاده کنند.



شکل ۱- اندازه بازار پهپادهای کشاورزی در جهان.

Fig. 1. Typical stick force with respect to velocity.

در سال‌های اخیر پژوهش‌های گوناگونی در زمینه کاربرد پهپادها برای پایش تنش‌های درختان باغی انجام شده و بررسی منابع نشان می‌دهد کاربرد پهپاد در کشاورزی در حال افزایش است [۱۲]. آنچه مسلم است، عملکرد درختان باغی و کیفیت میوه‌ها به شرایط آب و هوایی و محیطی بستگی دارد که در طول دوره رشد محصول تغییر می‌کنند [۱۱]. بنابراین، برای اطمینان از تولید میوه با کیفیت، پایش منظم رشد و سنجش شرایط تغذیه درختان و پایش تنش‌های احتمالی ضروری است [۱۲]. از سال ۲۰۰۹ تاکنون پژوهش‌های گوناگونی در زمینه کاربرد پهپادها برای پایش تنش‌های درختان باغی اجرا شده‌است. این مقاله برای اولین بار، پژوهش‌های مرتبط با پایش تنش‌های درختان باغی با پهپاد را در ایران و جهان جمع‌آوری و تحلیل کرده است. اهداف این مطالعه عبارت‌است از:

- تعیین دانش کنونی در زمینه کاربرد پهپاد در پایش تنش‌های درختان باغی.
- افزایش سطح آگاهی دانشجویان، و پژوهشگران علاقمند به پژوهش در این زمینه با هدف دستیابی سریع‌تر به نتایج برجسته پژوهش‌های پیشین و ایجاد شناخت بهتری از اولویت‌ها و خلاءهای پژوهشی.
- تسهیل در انتخاب نوع پهپاد و سنجنده مناسب برای هر پروژه (با توجه به طیف گسترده پهپادها و سنجنده‌های موجود) متناسب با نوع درخت و موضوع مورد مطالعه.

جدول ۱- پایش تنش‌های زیستی درختان باغی با پهپاد در جهان و ایران.

Table 1. Monitoring biotic stresses in orchard trees using UAVS: Global and Iranian perspectives

Biotic/abiotic stress type	Analysis method	Main findings	Camera type	UAV type	Tree/crop species	Country	Authors and year
Water stress	Statistical analysis	Improved irrigation management through high-spatial-resolution thermal remote sensing imagery.	Hyperspectral; thermal	UAV (configuration not specified)	Olive	Spain	Berni et al., 2009 [23]
Water stress	Statistical analysis	Demonstrated the potential of this technology for stress detection.	Hyperspectral; thermal	Fixed-wing	Citrus	Spain	Zarco-Tejada et al., 2012 [24]
Huanglongbing (HLB) disease	Statistical analysis; machine learning (support vector machine, SVM)	SVM outperformed other methods for classifying different disease classes; healthy and infected trees showed distinct reflectance at 710 nm; detection accuracy ranged from 67% to 85%.	Multispectral	Multirotor (hexacopter)	Citrus	USA	Garcia-Ruiz et al., 2013 [25]
Water stress	Statistical analysis	Improved irrigation management through high-spatial-resolution thermal remote sensing imagery.	Thermal	Fixed-wing	Citrus; almond; apricot; peach	Spain	Gonzalez-Dugo et al., 2013 [19]
Water stress	Statistical analysis	A strong relationship was found between calibrated imagery and ground-based measurements; the method could assess water stress at the individual-tree level.	Thermal	Multirotor (octocopter)	Apple	France	Gomez-Candon et al., 2016 [26]
Nutrient stress (nitrogen)	Statistical analysis; machine learning (SVM)	Machine-learning methods outperformed statistical methods for nutrient-stress detection.	Multispectral	Multirotor (octocopter)	Citrus	China	Xuefeng et al., 2016 [27]
Flavescence dorée disease	Statistical analysis	Increasing the number of samples was necessary to improve stress-estimation accuracy.	Multispectral	Fixed-wing	Grapevine	France	Albetis et al., 2017 [28]
Water stress	Statistical analysis	Demonstrated the capability of the method to detect water stress.	Thermal	Multirotor (quadcopter)	Olive	Spain	Egea et al., 2017 [29]
Water stress	Statistical analysis	Demonstrated the capability of the method to detect water stress.	Thermal	Multirotor (hexacopter)	Peach; nectarine	Australia	Park et al., 2017 [30]
Water stress	Statistical analysis	Demonstrated the capability of the method to detect water stress.	Multispectral	Multirotor (quadcopter)	Almond	USA	Zhao et al., 2017 [31]

Disease stress (root rot)	Statistical analysis	An estimation accuracy of approximately 82% was achieved using the SVM method.	Multispectral	Multirotor (quadcopter)	Citrus	USA	Ampatzidis et al., 2017 [32]
Huanglongbing (HLB) disease	Machine learning (SVM)	Demonstrated the capability of the method to detect HLB disease.	Multispectral	Multirotor (hexacopter)	Citrus	Iran	Dadras Javan et al., 2019 [18]
Huanglongbing (HLB) disease	Machine learning (random forest)	High stress-estimation accuracy was reported; radiometric correction did not affect the quality of the results.	Multispectral	Multirotor (hexacopter)	Citrus	Iran	Pourazar et al., 2019 [33]
Nutrient stress (nitrogen)	Statistical analysis	The red band was effective for detecting nutrient stress; detection accuracy exceeded 87%.	Multispectral	Fixed-wing	Citrus	Brazil	Osco et al., 2019 [34]
Nutrient stress (chlorophyll status)	Machine learning (random forest)	Reducing tree-shadow effects could improve detection accuracy; random forest could discriminate among different stress levels.	Hyperspectral; multispectral	Fixed-wing	Apple; pear	Belgium	Vanbrabant et al., 2020 [35]
Fire blight disease	Machine learning (SVM)	Detection accuracy exceeded 95%.	Multispectral	Multirotor (quadcopter)	Pear	Iran	Bagheri, 2020 [36]
Mildew disease	Machine learning (deep learning)	Disease-detection accuracy exceeded 92%.	Multispectral	Multirotor (quadcopter)	Grapevine	France	Kerkech et al., 2020 [37]
Huanglongbing (HLB) disease	Statistical analysis	An accuracy exceeding 97% was reported using an artificial neural network (ANN).	Multispectral	Multirotor (quadcopter)	Citrus	China	Lan et al., 2020 [38]
Fire blight disease	Statistical analysis	Aerial multispectral imaging was reported to detect disease in pear trees; wavelengths of 611 and 741 nm were identified for distinguishing diseased trees.	Hyperspectral; visible	Fixed-wing; multirotor (octocopter)	Peach (as provided; verify against source)	Belgium	Schoofs et al., 2020 [39]
Fusarium wilt disease	Statistical analysis	A stress-estimation model with accuracy exceeding 80% was reported; results improved when spatial resolution was finer than 2 m.	Multispectral	Multirotor (quadcopter)	Banana	China	Ye et al., 2020 [40]
Xylella fastidiosa disease	Statistical analysis	Demonstrated the capability of aerial multispectral imagery to detect the disease.	Multispectral	Multirotor (quadcopter)	Olive	Italy	Castrignano et al., 2021 [41]
Water stress	Machine learning (ANN; random forest)	UAVs were described as a rapid, cost-effective approach to water-stress estimation; random forest achieved accuracy exceeding 67%.	Multispectral	Multirotor (hexacopter)	Grapevine	Australia	Gautam et al., 2021 [42]

Nutrient stress	Machine learning (deep learning)	Aerial multispectral imaging combined with AI-based processing was identified as an effective approach to nutrient-stress detection; reported accuracy was 87%.	Multispectral	Multirotor (quadcopter)	Citrus	USA	Costa et al., 2022 [43]
Disease stress (nematode detection)	Machine learning (SVM; random forest; ANN)	A disease-stress estimation approach based on random forest was reported.	Multispectral	Multirotor (quadcopter)	Coffee	Brazil	Pereira et al., 2022 [44]
Fire blight disease	Machine learning (SVM; random forest)	Multispectral imaging was reported to estimate fire blight; random forest achieved higher accuracy (94%) than SVM.	Multispectral	Multirotor (quadcopter)	Apple	China	Xiao et al., 2022 [45]
Basal stem rot disease	Machine learning (deep learning)	The method could distinguish trees in densely planted stands and detect disease symptoms at early stages.	Visible-spectrum	Fixed-wing	Oil palm	Indonesia	Kent et al., 2023 [46]
Stress type not specified	Random forest	Overall stress-detection accuracy was 69%.	Visible-spectrum	Multirotor	Citrus	Iran	Miraki et al., 2022 [21]
Pest infestation	Deep learning	Pest-detection accuracy was 96%; accuracy decreased by 13 percentage points as UAV flight speed increased.	Visible-spectrum	Multirotor	Citrus	Iran	Hadipour Rokni et al., 2022 [22]

۳. نتایج و بحث

به‌کار رفته همچنین، روش تحلیل استفاده شده و نتایج اصلی ارائه شده‌است.

در جدول ۲، جمع‌بندی پژوهش‌های مرتبط با پایش تنش‌های زیستی درختان باغی شامل نوع تنش و نوع درخت مطالعه‌شده، دوربین و پهپاد

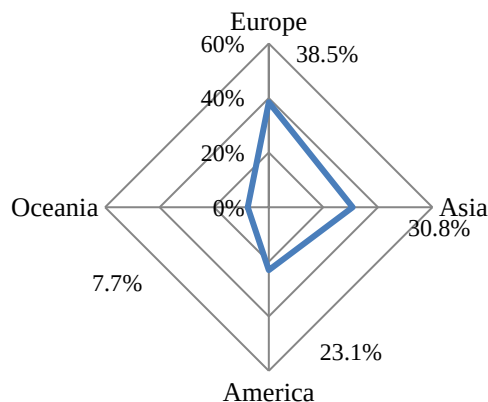
جدول ۲- جمع‌بندی پژوهش‌های مرتبط با پایش تنش‌های زیستی درختان باغی با پهپاد در ایران و جهان .

Table 2. A Review of research on UAV-based monitoring of biotic stresses in orchard trees in Iran and Worldwide.

Stress Type	Tree Species	UAV Type	Camera Type	Analysis Method	Overall Findings
Water stress: [19], [24], [26], [30], [29], [31], [42]	Olive (2); citrus (2); almond (2); peach (2); apricot (1); nectarine (1); apple (1); grapevine (1)	Unmanned aerial vehicle (1); fixed-wing (2); multirotor (5): octocopter (1), hexacopter (2), quadcopter (2)	Thermal (6); multispectral (2); hyperspectral (1)	Statistical methods (7); Modern machine learning (1)	- Improved irrigation management through the use of high-spatial-resolution thermal remote sensing imagery (2) - Feasibility of stress detection using UAV-based aerial imaging (3) - Establishment of a strong relationship between calibrated imagery and ground-based data (1) - Effectiveness of the method in detecting water stress (4) -Introduction of the method as a cost-effective and rapid approach for estimating water stress (1)

Nutritional stress: [27], [34–35], [43]	Citrus (3); pistachio (1); apple (1); pear (1)	Fixed-wing (3); multirotor (2); octocopter (1), quadcopter (1)	Multispectral (5); hyperspectral (1)	Statistical methods (3); classical machine learning (1); modern machine learning (2)	- Better performance of machine learning methods than statistical methods in detecting nutritional stress (3) - Suitability of the method for monitoring tree health - Achievement of a detection accuracy of more than 87% (2) - Potential to improve detection accuracy by reducing tree shadows
Disease-related stress: [18], [22], [25], [28], [32–33], [36–41], [44–46]	Citrus (6); grapevine (2); pear (1); apple (1); peach (1); banana (1); olive (1); coffee (1); palm (1)	Fixed-wing (3); multirotor (13); quadcopter (9), hexacopter (3), octocopter (1)	Multispectral (12); visible-spectrum (3); hyperspectral (1)	Statistical methods (7); classical machine learning (5); modern machine learning (6)	- Need to increase the number of samples to improve stress estimation accuracy - Effectiveness of the method in detecting disease-related stress (5) - Radiometric correction does not affect the quality of the results - Achievement of disease detection accuracy ranging from 80% to 97% (3) - Better results when the spatial resolution is finer than 2 m - Higher accuracy using the random forest method than the support vector machine (SVM) method (2) - Capability to detect symptoms during the early stages of disease - Pest detection accuracy of 96% - A 13% reduction in accuracy as UAV flight speed increases

* اعداد داخل پرانتز در جدول، فراوانی را نشان می‌دهد.



شکل ۳- درصد فراوانی پژوهش‌های مرتبط با پایش پیهادی تنش‌های زیستی باغ‌ها در قاره‌های مختلف.

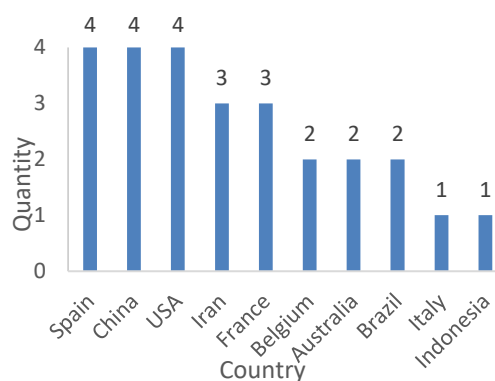
Fig. 3. Percentage distribution of research on UAV-based monitoring of biotic stresses in orchards across different continents.

۳-۲ پایش پیهادی درختان باغ

انواع درختان باغی مطالعه شده با پیهاد در جهان، در شکل ۴، نشان داده شده‌است. از میان ۱۲ نوع درخت باغی مطالعه‌شده، درختان مرکبات بیشترین فراوانی را در پژوهش‌ها داشتند (۳۲/۳ درصد). پس از آن درختان زیتون، سیب، هلو و انگور (۹/۷ درصد)، درختان بادام و گلابی (۶/۵ درصد) و درختان زردآلو، موز، شلیل،

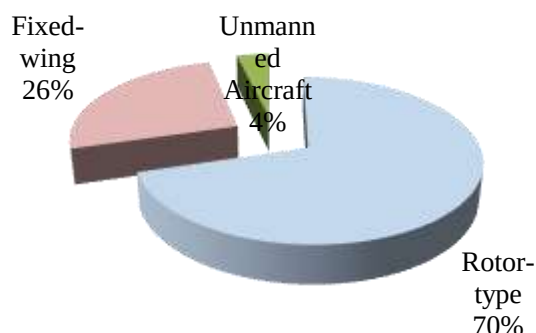
۳-۱ پژوهش در قاره‌ها و کشورهای مختلف

پژوهش‌های اجرا شده در زمینه پایش باغ‌ها با پیهاد در کشورهای گوناگون در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. اولین پژوهش اجراشده، در سال ۲۰۰۹ بوده‌است. براساس شکل ۲، ده کشور از پیهاد برای پایش تنش‌های باغ‌ها استفاده کردند. بیشترین تعداد پژوهش‌ها متعلق به کشورهای اسپانیا، چین و آمریکا و سپس ایران و فرانسه است. شکل ۳، درصد پژوهش‌های اجراشده در هر قاره را نشان می‌دهد. اروپا و آسیا به ترتیب با حدود ۳۹ و ۳۱ درصد فراوانی، بیشترین پژوهش را در این زمینه انجام داده‌اند.



شکل ۲- فراوانی پژوهش پایش پیهادی با تنش‌های زیستی باغ‌ها در کشورهای گوناگون.

Fig. 2. Frequency of UAV-based research on biotic stress monitoring in orchards across different countries.

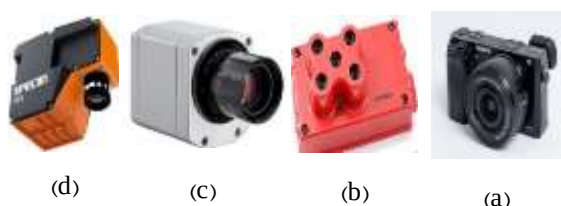


شکل ۶- تنوع کاربرد سکویای سنجش از دور در پایش باغ‌ها با پهپاد.

Fig. 6. Diversity of remote sensing platforms in UAV-based orchard monitoring.

۳-۴ سنجنده‌های پایش پهپادی درختان

سنجنده‌های سنجش از دور بخش اصلی از یک سامانه سنجش از دور به حساب می‌آیند. نمونه‌ای از سنجنده‌های رایج در مطالعه تنش‌های گیاهی با پهپاد در شکل ۷ نشان داده شده است.

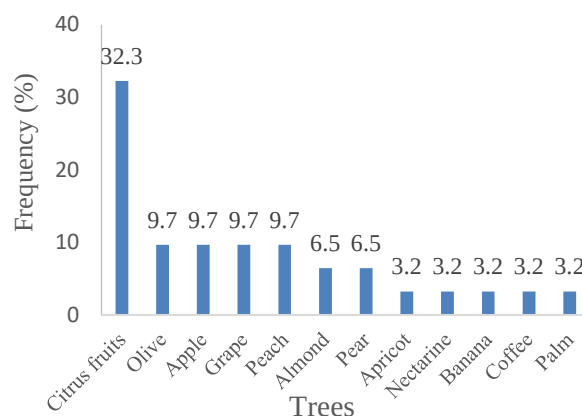


شکل ۷- سنجنده‌های سنجش از دور برای پایش تنش‌های باغی. الف: دوربین مرئی [۱۷]؛ ب: دوربین چندطیفی [۱۸]؛ ج: دوربین حرارتی [۱۹]؛ د: دوربین ابرطیفی [۲۰].

Fig. 7. Remote sensing sensors for monitoring orchard stresses. (a) Visible camera [17], (b) Multispectral camera [18], (c) Thermal camera [19], and (d) Hyperspectral camera [20].

در شکل ۸، فراوانی سنجنده‌های استفاده‌شده در پایش باغ‌ها نشان داده شده است. این سنجنده‌ها شامل سنجنده‌های چندطیفی، مرئی، حرارتی، و ابرطیفی^۴ هستند. براساس شکل، سنجنده‌های چندطیفی بیشترین کاربرد را داشته‌اند؛ زیرا این سنجنده‌ها نسبت به دوربین‌های مرئی دامنه طیفی گسترده‌تری داشته و نسبت به سنجنده‌های حرارتی سبک‌تر هستند. همچنین، این سنجنده‌ها نسبت به سنجنده‌های ابرطیفی سبک‌تر و ارزان‌تر هستند. به همین دلیل، در بیشتر پژوهش‌ها از این سنجنده‌ها استفاده شده است.

قهوه و پالم (۳/۲ درصد) قرار دارند. بیش از ۷۰ درصد از پژوهش‌ها روی پایش تنش‌های درختان مرکبات، زیتون، سیب، هلو و انگور متمرکز بوده است.



شکل ۴- فراوانی درختان پایش‌شده با پهپاد در جهان.

Fig. 4. Number of trees monitored using UAVs Worldwide.

۳-۳ سکویای سنجش در پایش تنش زیستی درختان

برخی از سکویای سنجش از دور هوایی رایج در پایش تنش‌های باغی در شکل ۵، و فراوانی آن‌ها در شکل ۶ آمده است.



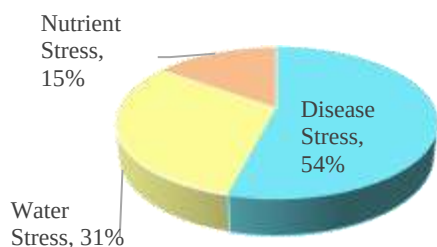
شکل ۵- انواع سکویای سنجش از دور برای پایش مخاطرات درختان باغی. الف: پهپاد بال ثابت [۱۵]؛ ب: هواپیمای بدون سرنشین [۹]؛ ج: پهپاد چند چرخانه [۱۶].

Fig. 5. Types of remote sensing platforms for monitoring hazards in orchard trees. (a) Fixed-wing UAV [15], (b) Unmanned aircraft [9], and (c) Multirotor UAV [16].

براساس پژوهش‌ها، پهپادهای چند چرخانه بیشترین کاربرد را در پایش مخاطرات درختان باغی داشتند (شکل ۶). از دلایل فراوانی بیشتر به کارگیری این نوع از پهپادها، ارزان تر بودن و در دسترس بودن آن‌ها نسبت به انواع دیگر است. پهپادهای چند چرخانه قابل استفاده شامل انواع پهپادهای ۴ چرخانه (کوادکوپتر)، ۶ چرخانه (هگزاکوپتر) و ۸ چرخانه (کوادکوپتر) هستند. کوادکوپترها بیشترین فراوانی را نسبت به انواع دیگر پهپادهای چند چرخانه داشتند.

۳-۶ پژوهش در انواع تنش‌های زیستی درختان

بررسی‌ها نشان داد که در پژوهش‌های اجرا شده سه نوع مخاطره اصلی شامل تنش‌های آبی، تنش بیماری‌های گیاهی و تنش تغذیه‌ای بررسی شده است. فراوانی این پژوهش‌ها در شکل ۱۰ نشان داده شده است. تنش‌های ناشی از بیماری‌های گیاهی، تنش‌های آبی و تغذیه‌ای به ترتیب ۵۴ درصد، ۳۱ درصد و ۱۵ درصد از پژوهش‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. تنش‌های تغذیه‌ای مورد مطالعه شامل بررسی وضعیت مقدار نیتروژن و کلروفیل و برآورد مقدار موجود یا کمبود این عناصر در گیاه بوده است. در مورد تنش‌های بیماری انواع مختلفی از بیماری‌های پایش شده و همچنین تشخیص زودهنگام در مراحل اولیه بروز تنش تشخیص داده شده است.



شکل ۱۰- انواع تنش‌های زیستی مورد مطالعه در پایش پهنای باغ‌ها.

Fig. 10. Types of biotic stresses investigated in UAV-based orchard monitoring.

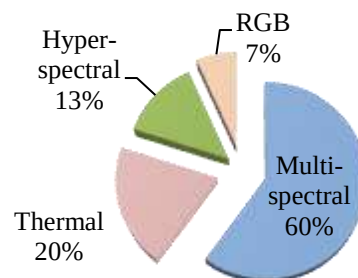
نتایج تنش‌های زیستی مطالعه شده به تفکیک زیر آمده است:

۳-۶-۱ پایش و برآورد تنش آبی

وضعیت آب درختان و یافتن تنش‌های آبی با استفاده از پهپاد از سال ۲۰۰۹ ارزیابی شده است. در واقع اولین موضوعی که در زمینه پایش تنش‌های درختان باغی با پهپاد مطالعه شده، موضوع تعیین تنش آبی است. روی درختان زیتون، مرکبات، و هلو هرکدام ۲ پژوهش و روی هرکدام از درختان بادام، زردآلو، هلو، سیب، شلیل و انگور یک پژوهش اجرا شده است. تنش آبی درختان زیتون و مرکبات بیشتر مورد توجه بوده است. از انواع هواپیماهای بدون سرنشین و پهپادهای بال ثابت و چند چرخه برای ارزیابی تنش آبی استفاده شده است. همچنین، برای پیش‌بینی تنش‌های آبی از سنجنده‌های ابرطیفی، حرارتی، چندطیفی استفاده شده و دوربین‌های حرارتی بیشتر از انواع دیگر کاربرد داشته است. نتایج پژوهش‌ها، کاربرد سنجنده‌های حرارتی را برای ارزیابی تنش‌های آبی درختان توصیه می‌کند.

۳-۶-۲ پایش تنش‌های ناشی از بیماری‌ها

تشخیص و پیش‌بینی بیماری‌های گیاهی از سال ۲۰۱۳ برای درختان

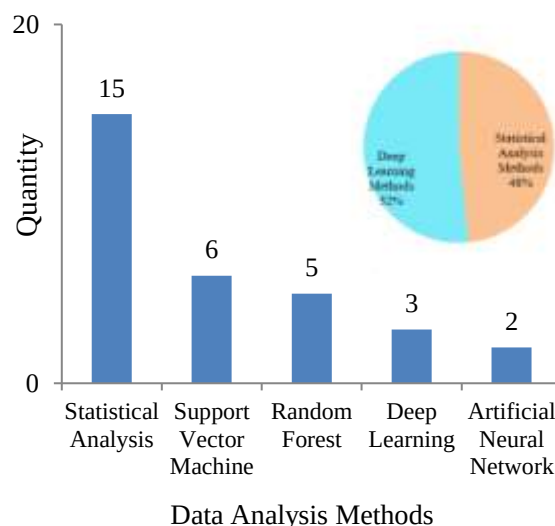


شکل ۸- فراوانی تنوع سنجنده در پایش پهنای تنش زیستی درختان.

Fig. 8. Frequency distribution of sensor types used in UAV-based monitoring of biotic stress in trees.

۳-۵ روش‌های تحلیل داده‌های تنش زیستی درختان

روش‌های تحلیل داده‌ها در پژوهش‌های مختلف نیز احصاء و دسته‌بندی شدند (شکل ۹). بر اساس نتایج، ۴۸ درصد از تحلیل‌ها با روش‌های آماری و ۵۲ درصد از تحلیل‌ها مبتنی بر روش‌های یادگیری ماشین کلاسیک و مدرن به عنوان زیر مجموعه‌ای از هوش مصنوعی بوده است. این موضوع نشان می‌دهد که روش‌های یادگیری ماشین قابلیت خوبی در پردازش تصاویر و پایش تنش‌ها و پیش‌بینی آن‌ها دارند. از بین روش‌های یادگیری ماشین نیز، کاربرد روش‌های یادگیری ماشین مدرن در تحلیل تصاویر پهنای به دلیل الگوریتم‌های پیشرفته و قابلیت آموزش مدل‌های پیچیده در حال افزایش است.



شکل ۹- فراوانی به کارگیری روش‌های تحلیل داده در پایش پهنای تنش‌های زیستی باغ‌ها.

Fig. 9. Frequency of data analysis methods used in UAV-Based monitoring of biotic stresses in orchards.

سرعت حرکت پهپاد اشاره کرد. وجود تنها سه پژوهش اجرا شده در حوزه پایش تنش باغ ها با پهپاد در کشور (به زبان فارسی) نشان دهنده کافی نبودن پژوهش ها در این زمینه برای هرگونه نتیجه گیری کلی است. با توجه به سرعت توسعه فناوری پهپاد و کاربرد آن در زمینه های مختلف، لازم است تا پژوهش های بیشتری در این زمینه اجرا شود تا هرگونه تصمیم در خصوص توسعه، تطبیق یا بهبود این فناوری قابل انجام باشد.

۴. چالش های پهپاد در پایش تنش ها

براساس نتایج گزارش شده در مقاله های موردبررسی، قابلیت پایش تنش های گیاهی با استفاده از تصاویر هوایی برداشت شده با پهپاد، برای درختان مطالعه شده در شرایط رشد متفاوت و در شرایط محیطی گوناگون اثبات شده است. با این حال، پژوهش در این زمینه دارای چالش هایی به شرح زیر است:

- برای دستیابی به بهترین دقت، انتخاب نوع سکو و سنجده مناسب بسیار مهم است. با این حال، سکوهایی تصویربرداری دارای محدودیت هایی در مداومت پروازی، و وزن محموله قابل حمل هستند. از طرفی برخی سنجده ها وزن زیادی دارند. بنابراین، در برخی مواقع امکان به کارگیری بهترین سنجده وجود ندارد.
- در صورتی که درخت با چند نوع تنش درگیر است، تشخیص انواع تنش و تفکیک آن ها از هم، کاری مشکل و نیاز به پژوهش های تکمیلی دارد.
- دستیابی به بهترین مقدار همپوشانی طولی و عرضی بسته به نوع سکو و سنجده متفاوت بوده و تعیین آن معمولاً نیاز به تجربه و صرف زمان دارد و انتخاب نادرست آن بر نتایج تأثیرگذار است.
- دقت پیش بینی به روش تحلیل تصاویر وابسته است و دقت نتایج بسته به نوع روش تحلیل از ۶۷-۹۹ درصد متغیر است. بنابراین، برای انتخاب بهترین روش، نیاز به بررسی تک تک روش ها و مقایسه نتایج آن ها است که این کار زمان بر است.
- با وجود آن که پهپادها قابلیت پرواز در هر ساعت روز را دارند، اما، وجود سایه در تصویر باعث ایجاد خطا و کاهش دقت پیش بینی ها می شود. این موضوع باعث کاهش قدرت تفکیک زمانی می شود.

با توجه به سرعت پیشرفت فناوری، در آینده نزدیک پهپادها و سنجده های انعطاف پذیرتری ساخته می شوند که قابلیت بهتری برای

مرکبات، انگور، هلو، موز، زیتون، سیب، و قهوه انجام شده و فراوانی پژوهش های مرتبط با درختان مرکبات بیش از سایر درختان است. بیماری هایی که روی آن ها کار شده شامل بیماری های سبزشدن مرکبات^۱، Flavescence doree و کپک انگور^۲، آتشک^۳ سیب و گلابی، فوزاریوم^۴ موز، زایللا^۵ زیتون و آلودگی نماد^۶ قهوه است. بیشترین مطالعه روی بیماری سبزشدن مرکبات و آتشک درختان سیب و گلابی بود. بیشترین سکوی استفاده شده، پهپادهای چند چرخه از نوع کوادکوپتر بودند. افزون بر این، از انواع سنجده های چندطیفی و مرئی و ابرطیفی استفاده شده که سنجده های چندطیفی بیشتر مورد توجه بوده اند. دقت پیش بینی در تشخیص بیماری سبزشدن مرکبات، آتشک گلابی، کپک انگور، فوزاریوم موز، و آتشک سیب، به ترتیب برابر با ۸۵-۶۷ درصد، ۹۵ درصد، ۹۲ درصد، بیش از ۸۰ درصد، و ۹۴ درصد گزارش شده است. در داخل کشور نیز روی تنش آفت مرکبات و بیماری گلابی کار شده و نتایج قابل قبولی به دست آمده است.

۳-۶-۳ پایش تنش های تغذیه ای

براساس داده های استخراج شده، پژوهش در زمینه کاربرد پهپادها برای پایش و تشخیص تنش های تغذیه ای گیاه شامل کلروفیل و نیتروژن درختان از سال ۲۰۱۶ آغاز شده است. در پژوهش های انجام شده، درختان مرکبات، سیب، گلابی و زیتون مطالعه شدند. براساس نتایج پژوهش ها، پهپادهای چند چرخه و سنجده های چندطیفی برای برآورد این دو متغیر مهم گیاهی (کلروفیل و نیتروژن) توصیه شده اند. دقت این روش در برآورد مقدار نیتروژن بیش از ۸۷ درصد و در تشخیص شاخص سطح برگ حدود ۸۵ درصد به دست آمد.

۳-۶-۴ پایش پهپادی تنش های زیستی باغ در سطح ملی

براساس جدول ۱، در سال های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۱ در مجموع سه پژوهش انجام شده که روی محصولات پسته و مرکبات بود. یکی از پژوهش ها با استفاده از پهپاد بال ثابت و سنجده چندطیفی و دو پژوهش دیگر با استفاده از پهپادهای چند چرخه (کوادکوپتر) و سنجده مرئی اجرا شده است. از جمله موضوع هایی که در این پژوهش بررسی شده پایش وضعیت تغذیه درختان و تعیین تنش های مواد غذایی و آبی بود. در این سه پژوهش، کاربرد روش های مبتنی بر هوش مصنوعی برای تحلیل داده ها بیش از روش های آماری بوده است. دقت تشخیص آفت با استفاده از روش یادگیری عمیق ۹۶ درصد گزارش شده است. همچنین، از دیگر نتایج پژوهش می توان به کاهش ۱۳ درصدی دقت تشخیص با افزایش

4. Fusarium
5. Xylella
6. Nematode

1. Citrus Greening (HLB)
2. Mildew
3. Fire Blight

اجرای عملیات پایش را دارند. با این حال، در شرایط فعلی برای بهبود پایش تنش‌ها با پهباد موارد زیر توصیه می‌شود:

- انتخاب سکو و سنجنده متناسب با نوع و ویژگی‌های پروژه مانند نوع درخت، نوع تنش، وسعت منطقه، بودجه و شرایط باغ.
- افزایش تعداد نمونه‌برداری‌های زمینی برای ساخت مدل‌های پیش‌بینی دقیق‌تر.
- به‌کارگیری روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای ساخت مدل‌ها.
- توسعه زیرساخت‌های جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و پردازش داده‌ها برای نتیجه‌گیری سریع‌تر و تصمیم‌سازی بهتر.

۵. نتیجه‌گیری

در این مطالعه، پژوهش‌های مرتبط با کاربرد پهبادها برای پایش تنش‌های زیستی درختان باغی شامل انواع تنش‌های آبی، تغذیه‌ای و آفات و بیماری در ایران و جهان طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ جمع‌آوری شدند. موضوع‌هایی مانند انواع سکوها و سنجنده‌های به‌کار رفته، محصولات مطالعه شده، کشورهای فعال در این زمینه، تنش‌های زیستی پایش شده، روش‌های استفاده شده برای تحلیل داده‌ها احصا و تحلیل شدند. برخی از مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش به‌شرح زیر است:

- ده کشور از پهباد برای پایش تنش‌های باغ‌ها استفاده کردند. بیشترین تعداد پژوهش‌ها متعلق به کشورهای اسپانیا، چین و آمریکا و سپس ایران و فرانسه است. اروپا و آسیا به‌ترتیب با حدود ۳۹ و ۳۱ درصد فراوانی، بیشترین پژوهش را در این زمینه داشته‌اند.

- ۱۲ نوع درخت باغی در پژوهش‌ها مطالعه شده، و بیشترین پژوهش‌ها روی درختان مرکبات با فراوانی ۳۲/۳ درصد، درختان زیتون، سیب، هلو و انگور با فراوانی ۹/۷ درصد فراوانی، و درختان بادام و گلابی با فراوانی ۶/۵ درصد بوده است.

- سه نوع سکوی سنجش از دور هوایی بدون سرنشین شامل هواپیمای بدون سرنشین، پهباد بال ثابت و پهباد چند چرخانه برای پایش تنش‌های زیستی درختان باغی به‌کار رفته است. رایج‌ترین سکوی استفاده شده، پهباد چند چرخانه بود.

- انواع سنجنده‌های چندطیفی، مرئی، حرارتی، و ابرطیفی برای پایش تنش‌های درختان باغی در پژوهش‌ها به‌کار رفته که در این میان، سنجنده‌های چندطیفی بیشترین فراوانی را داشتند.

- پارامترها و تنش‌های زیستی پایش شده شامل برآورد تنش‌های آبی، تغذیه‌ای و آفات و بیماری‌ها بوده که بیشترین فراوانی به‌ترتیب عبارت‌است از: پایش تنش بیماری‌های گیاهی (۵۴)

درصد)، پایش تنش آبی (۳۱ درصد) و سپس تنش تغذیه‌ای (۱۵ درصد).

- در پایش تنش آبی، بیشتر روی درختان زیتون، و مرکبات پژوهش شده است. استفاده از پهبادهای چند چرخانه و سنجنده‌های حرارتی برای پایش تنش آبی توصیه شده است.
- پایش بیماری‌های گیاهی، بیشتر روی درختان مرکبات پژوهش انجام شده است.
- بیماری‌های مطالعه شده شامل بیماری‌های سبز شدن مرکبات، کپک انگور، آتشک سیب و گلابی، فوزاریوم موز، زایلای زیتون و نماد قهوه است. بیشترین مطالعه روی بیماری سبز شدن مرکبات و آتشک درختان سیب و گلابی بود. سکو و سنجنده توصیه شده برای پایش تنش‌های بیماری شامل پهبادهای چند چرخانه و سنجنده‌های چندطیفی هستند.
- در پایش تنش‌های تغذیه‌ای بیشتر پژوهش‌ها روی درختان مرکبات، سیب، گلابی و زیتون بود. همچنین، پهبادهای چند چرخانه و سنجنده‌های چندطیفی بیشترین کاربرد را داشته‌اند.
- ۴۸ درصد از تحلیل‌ها با روش‌های آماری و ۵۲ درصد از تحلیل‌ها مبتنی بر روش‌های یادگیری ماشین بود. از این‌رو، کاربرد روش‌های نوین تحلیل نتایج، در پردازش تصاویر هوایی برداشت شده با پهباد در حال گسترش است.
- کاربرد سنجنده‌های حرارتی برای برآورد تنش آبی، و کاربرد سنجنده‌های چندطیفی برای برآورد تنش آفات و بیماری‌ها و تنش مواد مغذی درختان توصیه می‌شود.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع برای نویسندگان بیان نشده است.

مراجع

- [1] Agricultural Statistics Yearbook 2023, vol. 3, Horticultural Crops, Deputy for Planning and Economic Affairs, Information and Communication Technology Center, Ministry of Agriculture Jihad, 2023, (in Persian).
- [2] IRNA, "28% Growth in the value of agricultural product exports." News code: 85641148, Oct. 27, 2024, (in Persian), [Online]. Available: <https://www.ima.ir/news/85641148>
- [3] N. Bagheri and J. Kafashan, "UAV-based remote sensing in orcha-forest environment; diversity of research, used platforms and sensors," *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, vol. 32, 2023, Art. no. 101068, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101068>.

- [15] I. B. Yonah, S. K. Mourice, S. D. Tumbo, B. P. Mbilinyi, and J. Dempewolf, "Unmanned aerial vehicle-based remote sensing in monitoring smallholder, heterogeneous crop fields in Tanzania," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 39, no. 15-16, pp. 5453-5471, 2018, <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1455241>.
- [16] O. E. Apolo-Apolo, J. Martinez-Guanter, G. Egea, P. Raja, and M. Perez-Ruiz, "Deep learning techniques for estimation of the yield and size of citrus fruits using a UAV," *European Journal of Agronomy*, vol. 115, 2020, Art. no. 126030, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126030>.
- [17] M. N. Reza, I. S. Na, and S. W. Baek, "Rice yield estimation based on K-means clustering with graph-cut segmentation using low-altitude UAV images," *Biosystems Engineering*, vol. 177, pp. 109-121, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.09.014>.
- [18] F. Dadras Javan, F. Samadzadegan, S. H. Seyed Pourazar, and H. Fazeli, "UAV-based multispectral imagery for fast Citrus Greening detection," *Journal of Plant Diseases and Protection*, vol. 126, no. 4, pp. 307-318, 2019, <https://doi.org/10.1007/s41348-019-00234-8>.
- [19] V. Gonzalez-Dugo *et al.*, "Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard," *Precision Agriculture*, vol. 14, no. 6, pp. 660-678, 2013, <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9322-9>.
- [20] P. Horstrand, R. Guerra, A. Rodriguez, M. Diaz, S. Lopez, and J. F. Lopez, "A UAV platform based on a hyperspectral sensor for image capturing and on-board processing," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 66919-66938, 2019, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2913957>.
- [21] M. Miraki, H. Sohrabi, and P. Fatehi, "Citrus trees identification and trees stress detection based on spectral data derived from UAVs," *Journal of Research in Horticultural Science*, vol. 1, no. 1, pp. 27-40, 2022, (in Persian), <https://doi.org/10.22092/rhsj.2022.127815>.
- [22] R. Hadipour Rokni, E. Asgari Asli Ardeh, and S. Sabzi, "Identification of citrus pests using UAVs and artificial intelligence methods," *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, vol. 11, no. 3, pp. 59-68, 2022, (in Persian), <https://doi.org/10.22034/jrmam.2022.10139.558>.
- [23] J. A. J. Berni, P. J. Zarco-Tejada, G. Sepulcre-Canto, E. Fereres, and F. Villalobos, "Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery," *Remote Sensing of Environment*, vol. 113, no. 11, pp. 2380-2388, 2009, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.06.018>.
- [24] P. J. Zarco-Tejada, V. Gonzalez-Dugo, and J. A. J. Berni, "Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera," *Remote Sensing of*
- [4] G. Jang *et al.*, "Review: Cost-effective unmanned aerial vehicle (UAV) platform for field plant breeding application," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 6, 2020, Art. no. 998, <https://doi.org/10.3390/rs12060998>.
- [5] R. Eskandari, M. Mahdianpari, F. Mohammadimanesh, B. Salehi, B. Brisco, and S. Homayouni, "Meta-analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for agro-environmental monitoring using machine learning and statistical models," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 21, 2020, Art. no. 3511, <https://doi.org/10.3390/rs12213511>.
- [6] A. Ozdarici-Ok and A. O. Ok, "Using remote sensing to identify individual tree species in orchards: A review," *Scientia Horticulturae*, vol. 321, 2023, Art. no. 112333, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112333>.
- [7] V. Singh, N. Sharma, and S. Singh, "A review of imaging techniques for plant disease detection," *Artificial Intelligence in Agriculture*, vol. 4, pp. 229-242, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.10.002>.
- [8] H. Fraga *et al.*, "Integrated analysis of climate, soil, topography and vegetative growth in Iberian viticultural regions," *PLOS ONE*, vol. 9, no. 9, 2014, Art. no. e108078, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108078>.
- [9] P. Radoglou-Grammatikis, P. Sarigiannidis, T. Lagkas, and I. Moscholios, "A compilation of UAV applications for precision agriculture," *Computer Networks*, vol. 172, 2020, Art. no. 107148, <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107148>.
- [10] D. Popescu, L. Ichim, and F. Stoican, "Orchard monitoring based on unmanned aerial vehicles and image processing by artificial neural networks: A systematic review," *Frontiers in Plant Science*, vol. 14, 2023, Art. no. 1237695, <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1237695>.
- [11] L. Litavniece, S. Kodors, J. Deksnė, G. Lacis, I. Zarembo, and A. Pacejs, "Risk analysis for apple orchard survey and monitoring using UAV," in *Environment. Technology. Resources, International Scientific and Practical Conference*, vol. 1, pp. 116-122, 2023, <https://doi.org/10.17770/etr2023vol1.7234>.
- [12] C. Zhang, J. Valente, L. Kooistra, L. Guo, and W. Wang, "Orchard management with small unmanned aerial vehicles: A survey of sensing and analysis approaches," *Precision Agriculture*, vol. 22, no. 6, pp. 2007-2052, 2021, <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09813-y>.
- [13] J. Plaza, "What is the value of the European drone market?" *Commercial UAV News*, 2021. [Online]. Available: <https://www.commercialuavnews.com/europe/value-european-drone-market>
- [14] Market Research, "Agricultural drones market overview: Size, share, and key insights 2032," Market Research. Biz, NY, USA. 2024.

- vol. 52, no. 3, pp. 17-31, 2019, <https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1642143>.
- [34] L. P. Osco *et al.*, "Predicting canopy nitrogen content in citrus-trees using random forest algorithm associated to spectral vegetation indices from UAV-imagery," *Remote Sensing*, vol. 11, no. 24, 2019, Art. no. 2925, <https://doi.org/10.3390/rs11242925>.
- [35] Y. Vanbrabant, L. Tits, S. Delalieux, K. Pauly, W. Verjans, and B. Somers, "Multitemporal chlorophyll mapping in pome fruit orchards from remotely piloted aircraft systems," *Remote Sensing*, vol. 11, no. 12, 2019, Art. no. 1468, <https://doi.org/10.3390/rs11121468>.
- [36] N. Bagheri, "Application of aerial remote sensing technology for detection of fire blight infected pear trees," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 168, 2020, Art. no. 105147, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105147>.
- [37] M. Kerkech, A. Hafiane, and R. Canals, "Vine disease detection in UAV multispectral images using optimized image registration and deep learning segmentation approach," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 174, 2020, Art. no. 105446, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105446>.
- [38] Y. Lan *et al.*, "Comparison of machine learning methods for citrus greening detection on UAV multispectral images," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 171, 2020, Art. no. 105234, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105234>.
- [39] H. Schoofs, S. Delalieux, T. Deckers, and D. Bylemans, "Fire blight monitoring in pear orchards by unmanned airborne vehicles (UAV) systems carrying spectral sensors," *Agronomy*, vol. 10, no. 5, 2020, Art. no. 615, <https://doi.org/10.3390/agronomy10050615>.
- [40] H. Ye *et al.*, "Recognition of banana Fusarium Wilt based on UAV," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 6, 2020, Art. no. 938, <https://doi.org/10.3390/rs12060938>.
- [41] A. Castrignano *et al.*, "Semi-automatic method for early detection of Xylella fastidiosa in olive trees using UAV multispectral imagery and geostatistical-discriminant analysis," *Remote Sensing*, vol. 13, no. 1, 2021, Art. no. 14, <https://doi.org/10.3390/rs13010014>.
- [42] D. Gautam, B. Ostendorf, and V. Pagay, "Estimation of grapevine crop coefficient using a multispectral camera on an unmanned aerial vehicle," *Remote Sensing*, vol. 13, no. 13, 2021, Art. no. 2639, <https://doi.org/10.3390/rs13132639>.
- [43] L. Costa, S. Kunwar, Y. Ampatzidis, and U. Albrecht, "Determining leaf nutrient concentrations in citrus trees using UAV imagery and machine learning," *Precision Agriculture*, vol. 23, no. 3, pp. 854-875, 2022, <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09864-1>.
- [44] F. V. Pereira, G. D. Martins, B. S. Vieira, G. A. de Assis, and V. S. W. Orlando, "Multispectral images for *Environment*, vol. 117, pp. 322-337, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.007>.
- [25] F. Garcia-Ruiz, S. Sankaran, J. M. Maja, W. S. Lee, J. Rasmussen, and R. Ehsani, "Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 91, pp. 106-115, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.12.002>.
- [26] D. Gomez-Candon, N. Virlet, S. Labbe, A. Jolivot, and J. L. Regnard, "Field phenotyping of water stress at tree scale by UAV-sensed imagery: New insights for thermal acquisition and calibration," *Precision Agriculture*, vol. 17, no. 6, pp. 786-800, 2016, <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9449-6>.
- [27] X. Liu *et al.*, "Estimation of carbon and nitrogen contents in citrus canopy by low-altitude remote sensing," *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 9, no. 5, pp. 149-157, 2016, <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20160905.2246>.
- [28] J. Albetis *et al.*, "Detection of flavescence dorée grapevine disease using unmanned aerial vehicle (UAV) multispectral imagery," *Remote Sensing*, vol. 9, no. 4, 2017, Art. no. 308, <https://doi.org/10.3390/rs9040308>.
- [29] G. Egea, C. M. Padilla-Diaz, J. Martinez-Guanter, J. E. Fernandez, and M. Perez-Ruiz, "Assessing a crop water stress index derived from aerial thermal imaging and infrared thermometry in super-high density olive orchards," *Agricultural Water Management*, vol. 187, pp. 210-221, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.03.030>.
- [30] S. Park, D. Ryu, S. Fuentes, H. Chung, E. Hernandez-Montes, and M. O'Connell, "Adaptive estimation of crop water stress in nectarine and peach orchards using high-resolution imagery from an unmanned aerial vehicle (UAV)," *Remote Sensing*, vol. 9, no. 8, 2017, Art. no. 828, <https://doi.org/10.3390/rs9080828>.
- [31] T. Zhao, B. Stark, Y. Q. Chen, A. L. Ray, and D. Doll, "Challenges in water stress quantification using small unmanned aerial system (sUAS): Lessons from a growing season of almond," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 88, no. 2, pp. 721-735, 2017, <https://doi.org/10.1007/s10846-017-0513-x>.
- [32] Y. Ampatzidis, V. Partel, B. Meyering, and U. Albrecht, "Citrus rootstock evaluation utilizing UAV-based remote sensing and artificial intelligence," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 164, 2019, Art. no. 104900, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104900>.
- [33] H. Pourazar, F. Samadzadegan, and F. Dadras Javan, "Aerial multispectral imagery for plant disease detection: Radiometric calibration necessity assessment," *European Journal of Remote Sensing*,

- 2022, Art. no. 107137, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107137>.
- [46] O. W. Kent, T. W. Chun, T. L. Choo, and L. W. Kin, "Early symptom detection of basal stem rot disease in oil palm trees using a deep learning approach on UAV images," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 213, 2023, Art. no. 108192, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108192>.
- monitoring the physiological parameters of coffee plants under different treatments against nematodes," *Precision Agriculture*, vol. 23, no. 6, pp. 312–2344, 2022, <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09922-2>.
- [45] D. Xiao, Y. Pan, J. Feng, J. Yin, Y. Liu, and L. He, "Remote sensing detection algorithm for apple fire blight based on UAV multispectral image," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 199,