



Nutritional Responses of Apple and Peach trees to Two-Year Integrated Nutrient Management and Orchard-Specific Identification of Yield-Limiting Nutrients Using the CND Method

Tahereh Piri Gavbandeh¹ | Faranak Ranjbar² | Ali Beheshti Alagha³ | Isa Arji⁴

1. Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: pyrytahrh02@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: f_ranjbar1980@yahoo.com

3. Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: beheshtiali97@gmail.com

4. Department of Horticultural Science, College of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: i.arji@razi.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: June. 13, 2026

Revised: July. 12, 2026

Accepted: Aug. 9, 2026

Published online: Sep. 2026

Keywords:

**Biofertilizers,
Deep-hole fertilization,
Micronutrients,
Seaweed extract.**

ABSTRACT

Nutrient deficiencies and imbalances are among the major factors reducing the productivity of fruit trees in calcareous soils. This study was conducted in Sahneh County, Kermanshah Province, to evaluate the nutritional responses of apple and peach trees to two-year integrated nutrient management and to identify yield-limiting nutrients using compositional nutrient diagnosis (CND). In each of three apple orchards and three peach orchards, 30 trees were evaluated in a randomized complete block design with two treatments, namely the control and integrated nutrient management, and three replications. The nutrient management program included the integrated application of organic, chemical, and biological fertilizers through deep placement, fertigation, and foliar spraying from winter 2024 to summer 2025. The results showed that this program significantly increased the concentrations of most nutrients in leaves and fruits. In apple, leaf nitrogen, iron, and zinc concentrations increased by 10.6–19.6%, 37.4–45.6%, and 41.3–53.0%, respectively, while fruit nitrogen, calcium, and zinc concentrations increased by 21.5–29.8%, 43.2–77.4%, and 51.0–77.3%, respectively, compared with the control. In peach, leaf nitrogen, potassium, and magnesium concentrations increased by 17.4–23.0%, 38.5–49.7%, and 37.5–55.3%, respectively, whereas fruit nitrogen, calcium, and iron concentrations increased by 45.4–56.7%, 31.3–36.6%, and 25.1–39.1%, respectively. Critical yields were determined to be 109–98 kg tree⁻¹ in apple orchards and 51–20 kg tree⁻¹ in peach orchards. The CND indices identified zinc, calcium, and phosphorus in apple and calcium, magnesium, and potassium in peach as potentially yield-limiting nutrients.

Cite this article: Piri Gavbandeh, T., Ranjbar, F., Beheshti Alagha, A., Arji, I., (2026) Nutritional Responses of Apple and Peach trees to Two-Year Integrated Nutrient Management and Orchard-Specific Identification of Yield-Limiting Nutrients Using the CND Method, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 57 (7), 1593-1616. <http://doi.org/10.22059/ijswr.2026.416429.670157>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2026.416429.670157>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Balanced mineral nutrition is essential for maintaining tree growth, fruit production, and the long-term sustainability of fruit orchards. Nutrient deficiencies and imbalances are particularly common in orchards established on calcareous soils, where high pH, calcium carbonate, low organic matter, and bicarbonate-rich irrigation water can restrict the availability and uptake of phosphorus and micronutrients such as iron, zinc, and manganese. Under these conditions, soil nutrient concentrations alone may not accurately represent the nutritional status of fruit trees, and the combined interpretation of soil, leaf, fruit, and yield data is required.

Integrated nutrient management combines organic, chemical, and biological fertilizers and may help alleviate nutritional constraints through complementary mechanisms. However, conventional diagnostic approaches generally evaluate each nutrient separately and may not adequately account for interactions among nutrients. Compositional Nutrient Diagnosis (CND) evaluates each nutrient relative to the overall nutrient composition of plant tissue and provides standardized indices for identifying nutrient deficiency, excess, and imbalance.

This study was therefore conducted to evaluate the nutritional responses of apple and peach trees to a two-year integrated nutrient management program and to identify potentially yield-limiting nutrients using the CND method under the calcareous soil conditions of Sahneh County, Kermanshah Province, Iran.

Materials and Methods

The study was conducted during the 2024 and 2025 growing seasons in three apple orchards and three peach orchards. Because the orchards differed in cultivar, tree age, soil properties, and management history, each orchard was considered an independent study unit and was analyzed separately. In each orchard, 30 relatively uniform trees were selected, and the experiment was arranged in a randomized complete block design with two treatments—grower management as the control and integrated nutrient management—and three replications. Each block contained ten trees, including five control trees and five treated trees.

The integrated nutrient management program was implemented from winter 2024 to summer 2025 and consisted of a combination of organic manure, sulfur, *Thiobacillus*, nitrogen-fixing and phosphate-solubilizing biofertilizers, and chemical fertilizers supplying macro- and micronutrients. Inputs were applied through deep-hole fertilization, soil application, fertigation, and foliar spraying. During the first year, fertilizer rates were adjusted according to the initial soil properties of each orchard. During the second year, nutrient programs were standardized within each fruit species after the nutritional status of the treated orchards had become more similar.

Composite soil samples were collected from depths of 0–30 and 30–60 cm before treatment application and analyzed for major physical and chemical properties. Leaf samples were collected from fully developed leaves during summer 2025, and fruit samples were collected at the appropriate harvest maturity of each cultivar. Nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, manganese, zinc, and copper were determined using standard laboratory procedures.

Fruit yield was measured separately for each tree. For leaf and fruit nutrient analyses, samples from the five trees assigned to each treatment within each block were combined. Consequently, three independent composite samples were available for each treatment in each orchard. Treatment effects were evaluated separately for each orchard using analysis of variance, and mean comparisons were performed using Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

For the Cate–Nelson analysis and CND calculations, the mean yield of the five trees corresponding to each composite leaf sample was used. The Cate–Nelson method was applied to separate low- and high-yield populations and determine critical yield values. CND norms were derived from the high-yield population, and standardized nutrient indices were calculated to identify potential nutrient limitations.

Results and Discussion

The two-year integrated nutrient management program increased the concentrations of most measured nutrients in the leaves and fruits of apple and peach trees, and these increases were significant in most orchard–nutrient combinations. In apple trees, leaf nitrogen, iron, and zinc concentrations increased by 10.6–19.6%, 37.4–45.6%, and 41.3–53.0%, respectively, compared with the control. In apple fruits, nitrogen, calcium, and zinc concentrations increased by 21.5–29.8%, 43.2–77.4%, and 51.0–77.3%, respectively.

In peach trees, leaf nitrogen, potassium, and magnesium concentrations increased by 17.4–23.0%, 38.5–49.7%, and 37.5–55.3%, respectively. In peach fruits, nitrogen, calcium, and iron concentrations increased by 45.4–56.7%, 31.3–36.6%, and 25.1–39.1%, respectively, relative to the control. These results demonstrate that the nutritional response to the management program was not restricted to the leaves but was also reflected in

fruit nutrient composition.

The observed improvements should be interpreted as the cumulative response to the integrated management package rather than the independent effect of a particular fertilizer or application method. Chemical fertilizers supplied readily available nutrients, whereas organic amendments may have improved nutrient retention and root-zone conditions. Biofertilizers, sulfur, and *Thiobacillus* may also have contributed to nutrient availability and uptake. Nevertheless, because changes in rhizosphere pH, microbial establishment, soil enzyme activity, and post-treatment nutrient availability were not measured, the contribution of each component could not be quantified separately.

The Cate–Nelson procedure identified critical yield values ranging from 98 to 109 kg tree⁻¹ in apple orchards and from 20 to 51 kg tree⁻¹ in peach orchards. These thresholds were used to distinguish the relatively low- and high-yield populations required for establishing local CND reference values.

The CND indices indicated that zinc, calcium, and phosphorus had the most negative nutritional indices in the apple orchards and were therefore identified as potentially yield-limiting nutrients. In peach orchards, calcium, magnesium, and potassium had the most negative indices and represented the principal potential nutritional constraints. Differences among orchards showed that nutrient limitations were not uniform, even among orchards located within the same geographical area. This finding supports the use of orchard-specific diagnosis rather than uniform fertilizer recommendations.

The CND approach provided additional information beyond the interpretation of individual nutrient concentrations because it evaluated each nutrient in relation to the overall nutrient composition of the leaf tissue. However, the identified nutrients should be considered potential limitations under the conditions of the studied orchards and should be validated through targeted nutrient omission or response experiments.

Conclusion

The two-year integrated nutrient management program improved the nutritional status of apple and peach trees grown under calcareous soil conditions, as demonstrated by increased concentrations of several macro- and micronutrients in leaves and fruits. The response varied according to fruit species, orchard, plant organ, and nutrient.

The Cate–Nelson and CND approaches enabled the differentiation of relatively low- and high-yield populations and supported the identification of orchard-specific potential nutrient limitations. Zinc, calcium, and phosphorus were identified as potential limiting nutrients in apple orchards, whereas calcium, magnesium, and potassium were the main potential constraints in peach orchards. Overall, integrating soil testing, plant analysis, yield data, and CND indices can provide a more comprehensive basis for developing targeted nutrient management programs in fruit orchards. Nevertheless, additional controlled experiments are required to confirm the causal effects of the nutrients identified as potentially limiting.

Funding

The study was funded by Agricultural Jihad Organization of Kermanshah.

Authorship contribution

Conceptualization, F.R.; methodology, F.R., A.B. and I.A.; software, F.R. and T.P.; validation, F.R. and I.A.; formal analysis, T.P.; investigation, F.R.; resources, F.R. and A.B.; data curation, F.R. and T.P.; writing—original draft preparation, F.R.; writing—review and editing, F.R.; visualization, F.R. and T.P.; supervision, F.R. and A.B.; project administration, F.R. and A.B.; funding acquisition, F.R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

No artificial intelligence tools were used in the article writing process.

Data availability statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank anonymous referees for their constructive comments.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

پاسخ تغذیه‌ای درختان سیب و هلو به مدیریت تغذیه تلفیقی دوساله و شناسایی اختصاصی عناصر محدودکننده عملکرد با روش CND

طاهره پیری گاوینده^۱ | فرانک رنجبر^۲ | علی بهشتی آل آقا^۳ | عیسی ارجی^۴

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: pyrtahrh02@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: f_ranjbar1980@yahoo.com

۳. گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: beheshtiali97@gmail.com

۴. گروه علوم و مهندسی باغبانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: i.arji@razi.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

کمبود و عدم تعادل عناصر غذایی از عوامل مهم کاهش عملکرد درختان میوه در خاک‌های آهکی است. این پژوهش با هدف ارزیابی پاسخ تغذیه‌ای درختان سیب و هلو به مدیریت تغذیه تلفیقی دوساله و شناسایی عناصر محدودکننده عملکرد با روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND) در شهرستان صحنه، استان کرمانشاه، انجام شد. در هر یک از سه باغ سیب و سه باغ هلو، ۳۰ درخت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تیمار شاهد و مدیریت تغذیه تلفیقی و سه تکرار بررسی شدند. برنامه تغذیه شامل کاربرد تلفیقی کودهای آلی، شیمیایی و زیستی به صورت چالکود، کودآبیاری و محلول‌پاشی از زمستان ۱۴۰۲ تا تابستان ۱۴۰۴ بود. نتایج نشان داد که این برنامه، غلظت بیشتر عناصر غذایی برگ و میوه را به طور معنی‌داری افزایش داد. در سیب، غلظت نیتروژن، کلسیم و روی میوه به ترتیب ۱۰/۶ تا ۴۳/۲، ۲۹/۸ تا ۲۱/۵ و ۷۷/۴ تا ۵۱/۰ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. در هلو، افزایش نیتروژن، پتاسیم و منیزیم برگ به ترتیب ۱۷/۴ تا ۲۳/۰، ۳۸/۵ تا ۴۹/۷ و ۳۷/۵ تا ۵۵/۳ درصد و افزایش نیتروژن، کلسیم و آهن میوه به ترتیب ۴۵/۴ تا ۵۶/۷، ۳۱/۳ تا ۳۶/۶ و ۲۵/۱ تا ۳۹/۱ درصد بود. عملکرد بحرانی در باغ‌های سیب ۹۸-۱۰۹ و در باغ‌های هلو ۵۱-۲۰ کیلوگرم در درخت تعیین شد. شاخص CND، روی، کلسیم و فسفر را در سیب و کلسیم، منیزیم و پتاسیم را در هلو به عنوان عناصر بالقوه محدودکننده عملکرد شناسایی کرد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۳/۲۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۴/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۵/۱۸

تاریخ انتشار: مهر ۱۴۰۵

واژه‌های کلیدی:

چال‌کود،

ریزمغذی‌ها،

عصاره جلبک دریایی،

کودهای زیستی

استناد: پیری گاوینده؛ طاهره، رنجبر؛ فرانک، بهشتی آل آقا؛ علی، ارجی؛ عیسی، (۱۴۰۵) پاسخ تغذیه‌ای درختان سیب و هلو به مدیریت تغذیه تلفیقی دوساله و شناسایی اختصاصی عناصر محدودکننده عملکرد با روش CND، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۷ (۷)، ۱۵۹۳-۱۶۱۶.



<http://doi.org/10.22059/ijswr.2026.416429.670157>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2026.416429.670157>

مقدمه

مدیریت تغذیه در باغ‌های میوه یکی از مؤلفه‌های کلیدی در پایداری تولید، سلامت درخت، افزایش عملکرد و حفظ کیفیت محصول است. درختان میوه به دلیل چندساله بودن، گستردگی سیستم ریشه‌ای، تغییر نیازهای تغذیه‌ای در مراحل مختلف فنولوژیک و وابستگی عملکرد به تعادل میان عناصر غذایی، نسبت به مدیریت نامتعادل کوددهی حساس هستند. بنابراین، برنامه تغذیه‌ای در باغ‌های میوه باید بر پایه آزمون خاک، تجزیه برگ، وضعیت عملکرد، سابقه مدیریتی باغ و نیازهای اختصاصی درخت در مراحل کلیدی رشد تنظیم شود (Brunetto et al., 2015; Amanullah et al., 2023).

یکی از چالش‌های مهم در باغ‌های میوه واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌ویژه در خاک‌های آهکی، کمبود و عدم تعادل عناصر غذایی است pH بالا، حضور کربنات کلسیم، آهک فعال، بیکربنات آب آبیاری، کمبود ماده آلی و مصرف غیراصولی کودها می‌توانند قابلیت جذب عناصری مانند فسفر، آهن، روی و منگنز را کاهش دهند (Havlin et al., 2014). در چنین شرایطی، مقدار قابل استخراج عناصر در خاک الزاماً نشان‌دهنده مقدار واقعی جذب‌شده توسط گیاه نیست و آزمون خاک به‌تنهایی نمی‌تواند وضعیت تغذیه‌ای درخت را به‌طور کامل تبیین کند. از این‌رو، تجزیه برگ در کنار آزمون خاک، ابزار دقیق‌تری برای پایش وضعیت تغذیه‌ای، تشخیص کمبودها و ارزیابی عدم تعادل عناصر غذایی در باغ‌های میوه محسوب می‌شود (Havlin et al., 2014).

درختان سیب و هلو از محصولات مهم باغی هستند که عملکرد و کیفیت میوه آن‌ها به‌شدت تحت تأثیر وضعیت تغذیه‌ای قرار می‌گیرد. در سیب، عدم تعادل میان عناصر غذایی، به‌ویژه نسبت نیتروژن و کلسیم، می‌تواند با کاهش کیفیت میوه، افزایش حساسیت به اختلالات فیزیولوژیک و افت قابلیت نگهداری پس از برداشت همراه باشد (Fallahi et al., 2006; Sidhu et al., 2024). در هلو نیز کلروز ناشی از کمبود آهن، کاهش رشد، افت عملکرد و کاهش کیفیت میوه از مشکلات رایج در خاک‌های آهکی به‌شمار می‌رود. مطالعات اخیر در هلو و شلیل نشان داده‌اند که مدیریت تلفیقی منابع آلی، شیمیایی و زیستی می‌تواند در بهبود کلروز آهن، وضعیت عناصر غذایی و شاخص‌های تعادل تغذیه‌ای مؤثر باشد (Abbasi-Karvaneh et al., 2024).

نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌عنوان عناصر پرمصرف، نقش مهمی در رشد رویشی، توسعه ریشه، تشکیل گل و میوه، فتوسنتز، انتقال مواد فتوسنتزی و تنظیم روابط آبی گیاه دارند (Havlin et al., 2014). با این حال، اثر این عناصر تنها به مقدار مصرف آن‌ها وابسته نیست، بلکه نسبت آن‌ها با سایر عناصر، به‌ویژه کلسیم و منیزیم، در تعیین وضعیت تغذیه‌ای و عملکرد درخت نقش دارد. مصرف نامتعادل نیتروژن می‌تواند رشد رویشی بیش از حد را تحریک کرده و از طریق برهم زدن تعادل با کلسیم، کیفیت میوه را کاهش دهد (Fallahi et al., 2006; Yamane, 2014). فسفر نیز در خاک‌های آهکی به دلیل واکنش با کلسیم و تشکیل ترکیبات کم‌محلول، قابلیت جذب محدودی دارد. پتاسیم علاوه بر نقش در فتوسنتز، تنظیم روزه‌ها و انتقال کربوهیدرات‌ها، تحت تأثیر رقابت یونی با کلسیم و منیزیم قرار می‌گیرد و عدم تعادل این کاتیون‌ها می‌تواند جذب آن را محدود کند (Khayyat et al., 2007; Havlin et al., 2014).

مدیریت تغذیه تلفیقی از طریق ترکیب هدفمند کودهای آلی، شیمیایی، زیستی و محرک‌های رشد می‌تواند بخشی از محدودیت‌های تغذیه‌ای در خاک‌های آهکی را کاهش دهد. کودهای آلی با افزایش ماده آلی، بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی، تحریک فعالیت میکروبی و افزایش قابلیت نگهداری عناصر غذایی، نقش مهمی در بهبود حاصلخیزی خاک دارند (Amanullah et al., 2023). در کنار آن، کودهای زیستی حاوی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR) می‌توانند از طریق تثبیت نیتروژن، حل‌کنندگی فسفات، تولید سیدروفور، تولید تنظیم‌کننده‌های رشد و افزایش توسعه ریشه، جذب عناصر غذایی و کارایی مصرف کود را بهبود دهند (Yang et al., 2011; Alzate et al., 2024).

در سال‌های اخیر، استفاده از محرک‌های زیستی مانند اسیدهای آمینه، عصاره جلبک دریایی، مواد هیومیکی و ترکیبات مشابه نیز در مدیریت تغذیه باغ‌های میوه مورد توجه قرار گرفته است. این ترکیبات برخلاف کودهای کلاسیک که عمدتاً منبع مستقیم عناصر غذایی هستند، می‌توانند از طریق تحریک فرایندهای فیزیولوژیک، افزایش تحمل به تنش، بهبود جذب عناصر و ارتقای کارایی مصرف عناصر غذایی عمل کنند (Mahmud et al., 2016; Mughunth et al., 2024). مطالعات جدید نشان داده‌اند که عصاره‌های جلبک دریایی و سایر بیواستیمولانت‌ها می‌توانند رشد، عملکرد، جذب عناصر و کیفیت محصولات باغی را تحت شرایط مختلف محیطی بهبود دهند؛ هرچند کارایی آن‌ها به نوع محصول، ترکیب ماده مصرفی، زمان کاربرد و شرایط محیطی وابسته است (Mughunth et al., 2024; Boutahiri et al., 2024).

(et al., 2024).

با وجود اهمیت آزمون برگ در پایش وضعیت تغذیه‌ای، تفسیر نتایج آن تنها بر اساس مقایسه غلظت هر عنصر با دامنه کفایت نمی‌تواند تصویر کاملی از وضعیت تغذیه‌ای درخت ارائه دهد. عناصر غذایی در گیاه به‌صورت مستقل عمل نمی‌کنند و کمبود یا بیشبود یک عنصر ممکن است جذب، انتقال یا نقش فیزیولوژیک عناصر دیگر را تحت تأثیر قرار دهد. برای تفسیر داده‌های تجزیه برگ، روش‌هایی مانند انحراف از درصد بهینه^۱ (DOP) و سیستم تلفیقی تشخیص و توصیه^۲ (DRIS) معرفی شده‌اند. در روش DOP، غلظت هر عنصر با مقدار بهینه مقایسه می‌شود، در حالی که در روش DRIS نسبت میان جفت عناصر غذایی مبنای تفسیر قرار می‌گیرد (Walworth and Sumner, 1987; Montañés et al., 1993).

روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی^۳ (CND) یکی از روش‌های دقیق‌تر برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاه است که بر پایه ماهیت ترکیبی داده‌های تغذیه‌ای، نسبت‌های لگاریتمی و مقایسه جامعه کم‌عملکرد با جامعه دارای عملکرد بالا عمل می‌کند. در این روش، غلظت هر عنصر نسبت به میانگین هندسی همه اجزای ترکیب گیاهی ارزیابی می‌شود و شاخص‌های حاصل می‌توانند برای تشخیص کمبود، بیشبود یا عدم تعادل عناصر غذایی به کار روند (Khiari et al., 2001; Lisboa et al., 2024). مزیت اصلی CND آن است که به‌جای بررسی جداگانه هر عنصر، وضعیت آن را در ارتباط با کل ترکیب تغذیه‌ای گیاه تحلیل می‌کند و از این طریق امکان شناسایی دقیق‌تر عناصر محدودکننده عملکرد فراهم می‌شود (Khiari et al., 2001; Lisboa et al., 2024). کاربرد این روش در محصولات مختلف باغی و زراعی، از جمله انگور، مرکبات، سیب، به، هلو و شلیل، برای تعیین اعداد مرجع، تفکیک جوامع با عملکرد کم و زیاد و تشخیص عناصر محدودکننده گزارش شده است (بصیرت و همکاران، ۱۳۹۵؛ گندمکار و همکاران، ۱۴۰۲؛ Abbasi-Karvaneh et al., 2024).

با توجه به شرایط آهکی خاک‌های بسیاری از باغ‌های غرب کشور، کمبود ماده آلی، محدودیت جذب برخی عناصر غذایی و نبود اطلاعات کافی درباره پاسخ هم‌زمان باغ‌های سیب و هلو به مدیریت تغذیه تلفیقی، ارزیابی وضعیت عناصر غذایی در این باغ‌ها ضروری است. از سوی دیگر، بیشتر توصیه‌های کودی رایج بر پایه مقدار مطلق عناصر یا تجربه مدیریتی باغدار انجام می‌شود و کمتر به عدم تعادل چندعنصری و تعیین عناصر محدودکننده عملکرد بر اساس شاخص‌های ترکیبی توجه شده است. بنابراین، استفاده از شاخص CND در کنار آزمون خاک، تجزیه برگ، تجزیه میوه و داده‌های عملکرد می‌تواند رویکرد دقیق‌تری برای تشخیص محدودیت‌های تغذیه‌ای و ارزیابی اثربخشی مدیریت تغذیه تلفیقی فراهم کند.

بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر مدیریت تغذیه تلفیقی دو ساله بر وضعیت عناصر غذایی برگ و میوه در تعدادی از باغ‌های سیب و هلو در شهرستان صحنه در استان کرمانشاه انجام شد. همچنین، در این پژوهش تلاش شد با استفاده از شاخص تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND)، عناصر غذایی محدودکننده عملکرد در هر یک از باغ‌های مورد مطالعه شناسایی شوند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و طرح آزمایشی

این پژوهش در سه باغ سیب و سه باغ هلو در شهرستان صحنه، استان کرمانشاه، طی دو فصل رشد ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ انجام شد. هر باغ به دلیل تفاوت در سن درختان، رقم، ویژگی‌های خاک و سابقه مدیریتی، به‌عنوان یک واحد مطالعاتی مستقل در نظر گرفته شد و تحلیل آماری داده‌ها برای هر باغ به‌صورت جداگانه انجام گرفت. در هر باغ، ۳۰ درخت یکنواخت از نظر رقم، سن، قدرت رشد، وضعیت ظاهری و شرایط مدیریتی انتخاب شدند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تیمار شامل شاهد و مدیریت تغذیه تلفیقی و سه تکرار اجرا شد؛ به‌طوری‌که تیمار شاهد بیانگر مدیریت رایج باغدار و تیمار مدیریت تغذیه تلفیقی بیانگر برنامه تغذیه‌ای طراحی شده برای این مطالعه بود. هر بلوک شامل ۱۰ درخت بود که پنج درخت به‌عنوان شاهد و پنج درخت برای اجرای تیمار مدیریت تغذیه تلفیقی اختصاص یافتند. عملیات عمومی باغ شامل آبیاری، هرس، کنترل علف‌های هرز و مدیریت آفات و بیماری‌ها برای درختان شاهد و تیمار تا حد امکان به‌صورت یکسان انجام شد و تفاوت اصلی دو گروه، اجرای برنامه تغذیه تلفیقی در درختان تیمار شده بود. برای اندازه‌گیری عملکرد، هر درخت به‌عنوان واحد مشاهده در نظر گرفته شد. با این حال، برای آنالیز عناصر غذایی برگ و میوه، نمونه مرکب حاصل از پنج درخت هر

1 Deviation from Optimum Percentage

2 Diagnosis and Recommendation Integrated System

3 Compositional Nutrient Diagnosis

تیمار در هر بلوک به‌عنوان واحد آزمایشی و آماری مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین، در هر باغ برای هر تیمار سه نمونه مرکب مستقل وجود داشت.

سن درختان در باغ‌های سیب شماره ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب ۲۰، ۳۰ و ۲۴ سال و رقم به‌ترتیب قرمز استخوانی، قرمز لبنانی و قرمز استخوانی بود. سن درختان در باغ‌های هلو شماره ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب ۱۲، ۵ و ۶ سال و رقم به‌ترتیب آلبرتا زودرس، انجیری زعفرانی و آلبرتا زودرس بود.

لازم به ذکر است که هدف این پژوهش، ارزیابی اثر یک برنامه مدیریت تغذیه تلفیقی به‌عنوان یک بسته مدیریتی واحد بود. بنابراین، به دلیل کاربرد هم‌زمان کودهای آلی، شیمیایی و زیستی و همچنین استفاده از روش‌های مختلف کاربرد شامل چالکود، کودآبیاری و محلول‌پاشی، امکان تفکیک اثر مستقل هر نهاده یا هر روش کاربرد در چارچوب طراحی حاضر وجود نداشت.

نمونه‌برداری و آنالیز خاک

اوایل اسفند ۱۴۰۲ و پیش از اعمال چال‌کودها، نمونه‌های خاک از دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری به‌صورت مرکب تهیه و به آزمایشگاه منتقل شدند و سپس، برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، هوا-خشک و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی نمونه‌های خاک شامل pH، هدایت الکتریکی (EC)، توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتر، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر با دی‌کرومات پتاسیم، نیتروژن کل به روش کج‌لدال، فسفر قابل دسترس به روش استخراج با عصاره‌گیر اولسن و قرائت به روش رنگ‌سنجی کمپلکس مولبیدات-فسفات با دستگاه اسپکتروفوتومتر، پتاسیم قابل دسترس به روش استخراج با استات آمونیوم یک مولار خنثی و قرائت با دستگاه فلیم فتومتر، آهن، مس، منگنز و روی قابل دسترس به روش استخراج با عصاره‌گیر $0.05\text{ M DTPA} + 0.1\text{ M TEA} + 0.1\text{ M CaCl}_2$ با $\text{pH} = 7/3$ و قرائت با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (Rowell, 1994; Jones, 2001).

نتایج آزمون اولیه خاک نشان داد که خاک باغ‌های مورد مطالعه دارای واکنش خنثی تا قلیایی بود؛ به‌طوری‌که pH خاک در باغ‌های سیب بین ۷/۱۰ تا ۷/۷۰ و در باغ‌های هلو بین ۷/۴۳ تا ۷/۸۸ تغییر کرد. هدایت الکتریکی خاک در همه باغ‌ها پایین بود و از ۰/۱۸ تا ۰/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر در باغ‌های سیب و از ۰/۱۵ تا ۰/۴۲ دسی‌زیمنس بر متر در باغ‌های هلو متغیر بود که نشان‌دهنده نبود محدودیت شوری در خاک‌های مورد مطالعه است. مقدار کربن آلی در باغ‌های سیب بین ۰/۵۸ تا ۲/۶۱ درصد و در باغ‌های هلو بین ۰/۵۹ تا ۲/۰۰ درصد قرار داشت که بیانگر تفاوت قابل توجه باغ‌ها از نظر وضعیت ماده آلی خاک بود. همچنین، مقدار کربنات کلسیم معادل در باغ‌های سیب از ۳/۵ تا ۲۷/۰ درصد و در باغ‌های هلو از ۱۲/۰ تا ۲۵/۱ درصد متغیر بود و نشان داد که بخش قابل توجهی از باغ‌ها، به‌ویژه باغ‌های سیب ۲ و ۳ و باغ‌های هلو ۱ و ۳، دارای شرایط آهکی بودند.

از نظر عناصر غذایی، نیتروژن کل خاک در باغ‌های سیب بین ۰/۰۶ تا ۰/۲۶ درصد و در باغ‌های هلو بین ۰/۰۶ تا ۰/۲۰ درصد متغیر بود. فسفر قابل جذب در باغ‌های سیب دامنه‌ای از ۶/۲ تا ۲۲/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در باغ‌های هلو دامنه‌ای از ۱۰/۵ تا ۱۸/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم داشت. پتاسیم قابل جذب نیز در باغ‌های سیب بین ۱۲۸ تا ۲۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در باغ‌های هلو بین ۱۵۶ تا ۲۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار گرفت. مقدار آهن، روی، مس و منگنز قابل جذب به‌ترتیب در دامنه ۳/۷ تا ۶/۵، ۰/۷ تا ۱/۲، ۰/۵ تا ۱/۲ و ۳/۴ تا ۵/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در باغ‌های سیب و در دامنه ۴/۰ تا ۵/۱، ۰/۸ تا ۱/۲، ۰/۷ تا ۱/۰ و ۳/۷ تا ۵/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در باغ‌های هلو قرار داشت. بافت خاک در باغ‌های سیب عمدتاً لوم رسی شنی و لوم رسی و در باغ‌های هلو عمدتاً لوم رسی و لوم شنی بود.

بر اساس این نتایج، باغ‌های مورد مطالعه از نظر مقدار آهک، ماده آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب و ریزمغذی‌های قابل جذب وضعیت یکسانی نداشتند. بنابراین، مقادیر کودهای مصرفی در سال نخست برای همه باغ‌ها یکسان نبود و مقدار کود حیوانی و کودهای شیمیایی مورد استفاده در چالکود زمستان ۱۴۰۲ برای هر باغ بر اساس نتایج آزمون خاک، تعیین شد. از این‌رو، مقادیر نهاده‌ها در متن به‌صورت دامنه ارائه شده‌اند؛ به‌طوری‌که مقادیر واقعی مصرف در میان باغ‌های سیب و همچنین در میان باغ‌های هلو، متناسب با وضعیت اولیه خاک هر باغ متفاوت بود. مقادیر کودهای خاک‌مصرف و کودآبیاری در بهار و تابستان ۱۴۰۳ نیز بر اساس تفاوت وضعیت اولیه خاک و نیاز تغذیه‌ای باغ‌ها متفاوت بود و به همین دلیل به‌صورت دامنه گزارش شد.

ترکیب چال‌کود درختان در زمستان ۱۴۰۲

چال‌کود زمستانه در نیمه اسفند ۱۴۰۲، پیش از آغاز رشد فعال بهاره و قبل از تورم کامل جوانه‌ها، اجرا شد. برای این منظور، در اطراف هر



درخت چهار چاله با قطر تقریبی ۴۰ سانتی متر و عمق ۴۰ سانتی متر در یک سوم بیرونی سایه انداز حفر شد و ترکیب کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر اساس نتایج آزمون خاک هر باغ در این چاله ها قرار گرفت. ترکیب چال کود به شرح زیر بود:

کود حیوانی (مخلوط گاوی و مرغی پوسیده): ۸-۶ کیلوگرم بسته به مقدار ماده آلی خاک + سولفات آمونیوم: ۲۰۰-۴۰۰ گرم سولفات آمونیوم بسته به مقدار نیتروژن خاک + سوپرفسفات تریپل: ۲۰۰-۴۰۰ گرم بسته به میزان فسفر قابل دسترس + سولفات پتاسیم: ۴۰۰-۲۰۰ گرم بسته به میزان پتاسیم قابل دسترس + سولفات آهن: ۱۰۰-۵۰ گرم بسته به میزان آهن قابل دسترس + کلات Fe-EDDHA: ۱۰۰-۵۰ گرم بسته به میزان آهن قابل دسترس + سولفات روی: ۱۰۰-۵۰ گرم بسته به میزان روی قابل دسترس + سولفات منگنز: ۱۰۰-۵۰ گرم بسته به میزان منگنز قابل دسترس + اسید بوریک: ۵۰ گرم + گوگرد: ۳۰۰ گرم + تیوباسیلوس: ۶ گرم + کود زیستی حاوی باکتری های تثبیت کننده آزادی نیتروژن (ازتوبارور ۱): یک گرم + کود زیستی حاوی باکتری های حل کننده فسفات (فسفوبارور ۲): یک گرم

برنامه تغذیه هر درخت سیب در بهار و تابستان ۱۴۰۳

۱- بلافاصله پس از ریزش گلبرگ ها: سوپرفسفات تریپل به مقدار ۲۰۰-۱۰۰ گرم به ازای هر درخت به صورت کاربرد خاکی در محدوده مرطوب شونده ریشه در یک سوم بیرونی سایه انداز و سولفات آمونیوم به مقدار ۲۰۰-۴۰۰ گرم به ازای هر درخت به صورت کودآبیاری، ۲- فندق شدن میوه: اوره به مقدار ۲۰۰-۱۰۰ گرم به ازای هر درخت به صورت کودآبیاری و کلرید کلسیم با غلظت دو گرم در لیتر به صورت محلول پاشی، ۳- دو هفته پس از فندق شدن میوه: کلرید کلسیم با غلظت دو گرم در لیتر به صورت محلول پاشی، ۴- گردویی شدن میوه: کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم، هر کدام با غلظت دو گرم در لیتر به صورت محلول پاشی در دو نوبت جداگانه با فاصله هفت روز، ۵- دو هفته پس از گردویی شدن میوه: کلرید کلسیم با غلظت دو گرم در لیتر به صورت محلول پاشی، ۶- یک ماه پس از گردویی شدن میوه: کلرید کلسیم با غلظت دو گرم در لیتر به صورت محلول پاشی، ۷- پس از برداشت میوه و پیش از خزان برگ ها: سولفات روی + اوره + اسید بوریک، هر کدام با غلظت سه گرم در لیتر به صورت محلول پاشی.

برنامه تغذیه هر درخت هلو در بهار و تابستان ۱۴۰۳

۱- بلافاصله پس از ریزش گلبرگ ها: سوپرفسفات تریپل به مقدار ۲۰۰-۱۰۰ گرم به ازای هر درخت به صورت کاربرد خاکی در محدوده مرطوب شونده ریشه در یک سوم بیرونی سایه انداز و سولفات آمونیوم به مقدار ۲۰۰-۴۰۰ گرم به ازای هر درخت به صورت کودآبیاری، ۲- فندق شدن میوه: اوره به مقدار ۲۰۰-۱۰۰ گرم به ازای هر درخت به صورت کودآبیاری و کلرید کلسیم با غلظت دو گرم در لیتر به صورت محلول پاشی، ۳- گردویی شدن میوه: کلرید کلسیم با غلظت دو گرم در لیتر به صورت محلول پاشی و سولفات پتاسیم + کلات Fe-EDDHA، هر کدام با غلظت دو گرم در لیتر به صورت محلول پاشی با فاصله یک هفته نسبت به کلرید کلسیم، ۴- پس از برداشت میوه و پیش از خزان برگ ها: سولفات روی + اوره + اسید بوریک، هر کدام با غلظت سه گرم در لیتر به صورت محلول پاشی.

پس از یک سال اجرای برنامه مدیریت تغذیه، نتایج آنالیز برگ در سال ۱۴۰۳ نشان داد که وضعیت عناصر غذایی در درختان تیمار شده باغ های متعلق به هر گونه تا حد زیادی به یکدیگر نزدیک شده است. بر این اساس، در سال دوم، مقادیر کودهای مصرفی برای سه باغ سیب یکسان و مقادیر مصرفی برای سه باغ هلو نیز یکسان در نظر گرفته شد.

برنامه تغذیه هر درخت سیب در بهار و تابستان ۱۴۰۴

۱- میکرو کامل حاوی آمینو اسید با غلظت دو گرم در لیتر به صورت محلول پاشی در مرحله نوک سبزی و دم موشی شدن جوانه ها، ۲- میکرو کامل حاوی آمینو اسید با غلظت دو گرم در لیتر به صورت مه پاشی روی گل ها، ۳- ۱۲۰ گرم اوره فسفات به صورت کودآبیاری + نیترات کلسیم با غلظت دو گرم در لیتر + عصاره جلبک دریایی با غلظت یک گرم در لیتر به صورت محلول پاشی بلافاصله بعد از ریزش گل ها، ۴- آمینو کلات کلسیم با غلظت دو گرم در لیتر به صورت محلول پاشی دو هفته بعد از ریزش گل ها، ۵- ۵۰ گرم کود ۱۲-۱۲-۳۶ + ۱۲۰ گرم سولفات منیزیم به صورت کودآبیاری + میکرو کامل حاوی آمینو اسید با غلظت دو گرم در لیتر به صورت محلول پاشی در مرحله فندق شدن میوه ها، ۶- نیترات کلسیم با غلظت دو گرم در لیتر + عصاره جلبک دریایی با غلظت یک گرم در لیتر به صورت محلول پاشی دو هفته بعد از فندق شدن میوه ها، ۷- ۵۰ گرم کود ۱۲-۱۲-۳۶ به صورت کودآبیاری + نیترات کلسیم با غلظت دو گرم در لیتر به صورت محلول پاشی در زمان گردویی شدن میوه ها، ۸- آمینو کلات کلسیم با غلظت دو گرم در لیتر به صورت محلول پاشی دو هفته بعد از گردویی شدن میوه ها، ۹- ۵۰ گرم کود ۱۲-۱۲-۳۶ + ۵۰ گرم میکرو به صورت کودآبیاری + نیترات کلسیم با غلظت دو گرم در لیتر به صورت

محلول‌پاشی یک ماه بعد از گردویی شدن میوه‌ها، ۱۰-۱۰۰ گرم کود ۱۲-۱۲-۳۶ به‌صورت کودآبیاری و میکروکامل حاوی آمینو اسید با غلظت دو گرم در لیتر به‌صورت محلول‌پاشی بعد از برداشت میوه و قبل از ریزش برگ‌ها به عنوان فروت‌ست سال آینده

برنامه تغذیه هر درخت هلو در بهار و تابستان ۱۴۰۴

۱- میکرو کامل حاوی آمینو اسید با غلظت دو گرم در لیتر به‌صورت محلول‌پاشی در مرحله تورم و نوک سبزی جوانه‌ها، ۲- میکرو کامل حاوی آمینو اسید با غلظت دو گرم در لیتر به‌صورت مه‌پاشی روی گل‌ها، ۳- ۱۲۰ گرم اوره فسفات به‌صورت کودآبیاری + عصاره جلبک دریایی با غلظت یک گرم در لیتر به‌صورت محلول‌پاشی بعد از ریزش گل‌ها، ۴- ۵۰ گرم کود ۱۲-۱۲-۳۶ + ۱۲۰ گرم سولفات منیزیم به‌صورت کودآبیاری + میکرو کامل حاوی آمینو اسید با غلظت دو گرم در لیتر به‌صورت محلول‌پاشی در مرحله فندق شدن میوه‌ها، ۵- آمینوکلات کلسیم با غلظت دو گرم در لیتر + عصاره جلبک دریایی با غلظت یک گرم در لیتر به‌صورت محلول‌پاشی دو هفته بعد از فندق شدن میوه‌ها، ۶- ۵۰ گرم کود ۱۲-۱۲-۳۶ به‌صورت کودآبیاری + آمینوکلات کلسیم با غلظت دو گرم در لیتر به‌صورت محلول‌پاشی در زمان گردویی شدن میوه‌ها، ۷- ۵۰ گرم کود ۱۲-۱۲-۳۶ + ۵۰ گرم کود میکرو به‌صورت کودآبیاری یک ماه بعد از گردویی شدن میوه‌ها، ۸- ۱۰۰ گرم کود ۱۲-۱۲-۳۶ به‌صورت کودآبیاری و میکروکامل حاوی آمینو اسید با غلظت دو گرم در لیتر به‌صورت محلول‌پاشی بعد از برداشت میوه و قبل از ریزش برگ‌ها به عنوان فروت‌ست سال آینده

نمونه‌برداری از برگ و میوه و آماده‌سازی نمونه‌ها جهت آنالیز

نمونه‌برداری از برگ درختان سیب و هلو در سال ۱۴۰۴ و پس از توسعه کامل برگ‌های میانی شاخه‌های جدید انجام شد. نمونه‌برداری برگ از درختان هلو در اواسط تیرماه و از درختان سیب در اواخر تیرماه انجام گرفت. در زمان نمونه‌برداری، برگ‌های انتخاب‌شده از نظر ظاهری سالم، فاقد علائم آفت، بیماری، کلروز شدید، سوختگی یا آسیب مکانیکی بودند. برای هر درخت، ۱۰ تا ۱۵ برگ از قسمت‌های میانی شاخه‌های جدید درختان شاهد و تیمار شده برداشت شد. انتخاب این مرحله نمونه‌برداری به این دلیل انجام گرفت که برگ‌ها از نظر فیزیولوژیک به مرحله نسبتاً پایدار رسیده و برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای درخت مناسب بودند.

پس از برداشت، نمونه‌های برگ مربوط به پنج درخت شاهد در هر بلوک با یکدیگر ترکیب شدند و همین روش برای نمونه‌های برگ پنج درخت تیمار شده در همان بلوک نیز انجام گرفت. بر این اساس، از هر باغ سه نمونه مرکب برگ مربوط به تیمار شاهد و سه نمونه مرکب برگ مربوط به تیمار تغذیه به دست آمد. نمونه‌های برگ ابتدا با آب مقطر شسته شدند تا گردوغبار و آلودگی‌های سطحی احتمالی حذف شود. سپس نمونه‌ها در شرایط آزمایشگاهی، هوا-خشک و پس از آن در آون با دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشک شدند. نمونه‌های خشک‌شده، آسیاب و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند و برای اندازه‌گیری عناصر غذایی پرمصرف شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم و عناصر کم‌مصرف شامل آهن، منگنز، روی و مس مورد استفاده قرار گرفتند.

نمونه‌برداری از میوه نیز در تابستان سال ۱۴۰۴ و در مرحله رسیدگی مناسب برداشت هر رقم انجام شد. از هر درخت، ۵ تا ۱۰ میوه سالم، یکنواخت و فاقد علائم آسیب فیزیکی، آفت یا بیماری برداشت شد. برای تهیه نمونه مرکب میوه، میوه‌های برداشت‌شده از پنج درخت شاهد در هر بلوک با یکدیگر ترکیب شدند و به همین ترتیب، میوه‌های برداشت‌شده از پنج درخت تیمار شده در هر بلوک نیز به‌صورت جداگانه ترکیب شدند. بنابراین، از هر باغ سه نمونه مرکب میوه شاهد و سه نمونه مرکب میوه تیمار شده به دست آمد.

نمونه‌های میوه پس از انتقال به آزمایشگاه، با آب مقطر شسته شدند و سپس به قطعات نازک خرد شدند تا فرایند خشک شدن به‌صورت یکنواخت انجام شود. قطعات میوه ابتدا در شرایط آزمایشگاهی، هوا-خشک و سپس تا رسیدن به وزن ثابت در آون خشک شدند. پس از خشک شدن، نمونه‌ها، آسیاب و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند و برای اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی مورد استفاده قرار گرفتند.

اندازه‌گیری عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف در نمونه‌های گیاهی

یک گرم از هر نمونه آون-خشک شده برگ و میوه در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس در کوره الکتریکی خاکستر شد. سپس، خاکستر هر نمونه در ۲۰ میلی‌لیتر مخلوط اسیدی (۳۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ + ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) حل شد و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. مقدار فسفر بر اساس روش رنگ‌سنجی کمپلکس مولیبدات-وانادات-فسفات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون کمپلکس‌سنجی با EDTA و آهن، منگنز، روی و مس با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (Jones, 2001).



مقدار نیتروژن در نمونه‌های برگ و میوه به روش هضم تر اندازه‌گیری شد. ۰/۵ گرم نمونه آون خشک شده و عبور داده شده از الک ۰/۵ میلی‌متری در لوله‌های هضم دستگاه هضم کج‌دال ریخته شد. سه میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ و ۱/۱ گرم مخلوط کاتالیزور (سولفات پتاسیم، سولفات مس و پودر سلنیوم با نسبت‌های ۱۰۰:۱۰:۱ گرم) اضافه گردید و سپس، هضم نمونه‌ها در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس تا زمان بی‌رنگ شدن آن‌ها انجام شد. پس از خنک شدن، محتویات لوله هضم از کاغذ صافی عبور داده شد و در بالن ۵۰ میلی‌لیتری به حجم رسید. مقدار نیتروژن نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Baethgen and Alley, 1989).

عملکرد بحرانی بر اساس روش تجزیه واریانس کیت-نلسون

در زمان برداشت، کل محصول هر یک از ۳۰ درخت مورد مطالعه در هر باغ به‌طور جداگانه برداشت و توزین شد و عملکرد هر درخت بر حسب کیلوگرم در درخت ثبت گردید. به‌منظور تطبیق داده‌های عملکرد با نتایج آنالیز برگ، میانگین عملکرد پنج درخت تشکیل‌دهنده هر نمونه مرکب محاسبه و به‌عنوان عملکرد متناظر آن واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. بنابراین، در هر باغ شش واحد مشاهده مستقل، شامل سه واحد شاهد و سه واحد تیمار شده، برای تعیین عملکرد بحرانی و محاسبه شاخص‌های CND در دسترس بود. هر واحد مشاهده شامل یک نمونه مرکب برگ با پروفایل مشخص غلظت عناصر غذایی و میانگین عملکرد متناظر پنج درخت تشکیل‌دهنده آن بود.

برای گروه‌بندی جامعه به گروه‌های با عملکرد زیاد و کم در هر باغ از روش تجزیه واریانس کیت-نلسون استفاده شد. برای این منظور، مشاهدات بر اساس مقدار عملکرد مرتب شدند و تمام نقاط ممکن برای تفکیک آن‌ها به دو زیرگروه با عملکرد کم و زیاد بررسی گردید. در هر مرحله، مشاهدات در یکی از نقاط ممکن به دو زیرگروه تقسیم شدند و مجموع مربعات درون‌گروهی برای هر حالت محاسبه شد. این فرایند تا بررسی تمام نقاط ممکن تفکیک، با حفظ حداقل دو مشاهده در هر زیرگروه، ادامه یافت. مجموع مربعات برای هر گروه‌بندی و مجموع مربعات کل تصحیح شده به‌ترتیب با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شدند:

$$SS = \frac{(\text{sum of } Y \text{ of } n_1 \text{ observations})^2}{n_1} + \frac{(\text{sum of } Y \text{ of } n_2 \text{ observations})^2}{n_2} - \frac{(\text{sum of } Y \text{ of } n \text{ observations})^2}{n} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$\text{Adj. TSS} = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن‌ها، Y عملکرد، n_1 و n_2 به‌ترتیب تعداد مشاهدات در گروه‌های اول و دوم در هر گروه‌بندی و n تعداد کل مشاهدات می‌باشند. سپس، مجموع مربعات هر گروه‌بندی به مجموع مربعات کل تصحیح شده، تقسیم و مقدار R^2 برای هر گروه‌بندی محاسبه شد. گروه‌بندی که بیشترین مقدار R^2 را داشت به عنوان بهترین گروه‌بندی انتخاب گردید. عملکرد بحرانی به عنوان مرز بین جامعه با عملکرد بالا و جامعه با عملکرد پایین از میانگین عملکرد مشاهده دوم در گروه اول و مشاهده اول در گروه دوم بهترین گروه‌بندی به‌دست آمد.

روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND)

در روش CND، ترکیبات موجود در بافت گیاه (S_d) به‌صورت مجموع غلظت عناصر غذایی به اضافه یک بخش باقیمانده (R_d) در نظر گرفته می‌شود:

$$S_d = [(X_1, X_2, \dots, X_n, R_d): X_1 > 0, X_2 > 0, \dots, R_d > 0, X_1 + X_2 + \dots + X_n + R_d = 100] \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه، n تعداد عناصر غذایی و X مقدار این عناصر در نمونه گیاهی بر حسب درصد می‌باشد. بخش باقیمانده (R_d) از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$R_d = 100 - (X_1 + X_2 + \dots + X_n) \quad (\text{رابطه ۴})$$

میانگین هندسی عناصر غذایی (G) بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$G = (X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \times R_d)^{\frac{1}{n+1}} \quad (\text{رابطه ۵})$$

لگاریتم طبیعی نسبت غلظت هر عنصر غذایی به میانگین هندسی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V_X = \ln(X/G) \quad (\text{رابطه ۶})$$

اگر محاسبات به درستی انجام گرفته باشند، باید معادله زیر برقرار باشد:

$$V_{X_1} + V_{X_2} + \dots + V_{X_n} + V_{R_d} = 0 \quad \text{رابطه ۷}$$

شاخص هر عنصر غذایی (I_x) با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$I_x = \frac{V_x - V_x^*}{SD_x^*} \quad \text{رابطه ۸}$$

در این رابطه V_x^* و SD_x^* به ترتیب میانگین و انحراف معیار نسبت لگاریتمی عناصر غذایی جامعه با عملکرد زیاد می‌باشند.

شاخص تعادل عناصر غذایی در روش CND بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$CND - r^2 = I_{X_1}^2 + I_{X_2}^2 + \dots + I_{X_n}^2 + I_{R_d}^2 \quad \text{رابطه ۹}$$

هرچه مقدار این شاخص به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده تعادل عناصر غذایی و افزایش احتمال به دست آمدن عملکرد بیشتر و نزدیک شدن به جامعه با عملکرد زیاد است.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت جداگانه برای هر باغ انجام شد. در هر باغ، بلوک‌بندی برای کاهش اثر ناهمگنی‌های محیطی و کنترل خطای آزمایشی ناشی از تغییرات مکانی در باغ به کار رفت. معنی‌داری اثر تیمار با استفاده از آزمون F تجزیه واریانس در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد بررسی شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. با توجه به وجود دو سطح تیمار، نتیجه این مقایسه اطلاعات استنباطی بیشتری نسبت به آزمون F ایجاد نمی‌کند و حروف حاصل از آزمون دانکن فقط برای نمایش تفاوت یا عدم تفاوت میانگین شاهد و تیمار در هر باغ و صفت در جداول ارائه شدند. پیش از انجام تجزیه واریانس، داده‌ها از نظر یکنواختی و ساختار تکرارها کنترل شدند. محاسبات آماری با نرم‌افزار SAS انجام شد و داده‌ها در جداول به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شدند. محاسبات مربوط به شاخص‌های CND، شامل میانگین هندسی، نسبت‌های لگاریتمی، مقادیر مرجع محلی، شاخص هر عنصر غذایی و شاخص کلی عدم تعادل تغذیه‌ای، با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر مدیریت تغذیه دو ساله بر مقدار عناصر غذایی در برگ درختان سیب و هلو

نتایج مقایسه میانگین عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در برگ درختان سیب تحت تأثیر مدیریت تغذیه دو ساله در جدول ۱ ارائه شده‌اند. در ادامه چال کود درختان در زمستان ۱۴۰۲ و کود-آبیاری و محلول‌پاشی آن‌ها در طول بهار و تابستان ۱۴۰۳، برنامه کود-آبیاری و محلول‌پاشی با کودهای شیمیایی، آمینوکلات‌ها و عصاره جلبک دریایی در طول بهار و تابستان ۱۴۰۴ ادامه پیدا کرد. اثر تیمار تغذیه پس از گذشت دو سال بر افزایش تمام عناصر غذایی در هر سه باغ، معنی‌دار بود. بر اساس مقادیر بهینه عناصر در برگ درختان سیب (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۴)، مقادیر نیتروژن و منیزیم در برگ درختان شاهد باغ ۲ و مقادیر کلسیم، آهن، منگنز، روی و مس در برگ درختان شاهد در هر سه باغ کمتر از حد مطلوب بودند، درحالی‌که مقدار تمام عناصر در برگ درختان تیمار شده در حد مطلوب قرار داشت (جدول ۱).

در یک مطالعه، مقدار فسفر در برگ‌های سیب تحت تیمارهای مختلف کوددهی (کودهای معدنی، آلی + معدنی و آلی) در محدوده ۰/۱۱ تا ۰/۲۳ درصد و کمترین و بیشترین مقدار به ترتیب در تیمار شاهد و آلی + معدنی گزارش شده است (Milošević et al., 2022). همچنین، مقادیر آهن، منگنز، روی و مس در برگ‌های درختان سیب تحت تیمارهای مختلف کوددهی به ترتیب در محدوده‌های زیر متغیر بوده است: ۸۵/۲-۱۷۲/۳، ۳۹/۷-۴۹/۶، ۲۰/۶-۳۲/۴ و ۷/۴-۱۰/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم (Milošević et al., 2022). کاربرد گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس در درختان سیب به‌طور معنی‌داری غلظت فسفر قابل دسترس خاک را در طی مدت ۱۲ ماه افزایش داده است (مجیدی و ملکوتی، ۱۳۹۵). دو مکانیسم برای نقش گوگرد در افزایش قابلیت دسترسی عناصر به ویژه فسفر وجود دارد: ۱- کاهش pH خاک و ۲- جانشینی فسفات با سولفات و رهاسازی فسفات از پیوند با ذرات کلوییدی و کربنات کلسیم خاک (Ullah et al., 2013). آنزیم‌های زیادی در فراهمی و تبدیل شکل آلی عناصر غذایی به شکل معدنی نقش دارند. آنزیم فسفاتاز قلیایی از طریق هیدرولیز کردن مونواسترهای اسید فسفریک و تبدیل آن‌ها به یون فسفات با یک گروه هیدروکسیل آزاد، گروه فسفات را از پیش‌ماده جدا می‌سازد. از آنجا که ۹۰ درصد فسفر آلی به شکل مونواستر است و مواد آلی نیز ترکیبات استری فسفات را به خاک اضافه می‌نمایند، نقش این آنزیم اهمیت



پیدا می‌کند. تأثیر کاربرد کودهای آلی بر افزایش فعالیت فسفاتنازهای قلیایی در خاک‌ها ممکن است تحت سازوکارهای متفاوتی باشد. کودهای آلی از یک طرف باعث بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه و در نتیجه افزایش رشد و میزان ترشحات ریشه‌ای حاوی این آنزیم‌ها می‌شوند و از طرف دیگر، جمعیت و فعالیت ریزجانداران تولیدکننده این آنزیم را افزایش می‌دهند (شهبابی فر، ۱۳۹۹).

افزایش غلظت آهن و روی در برگ درختان تیمار شده را باید نتیجه تجمعی برنامه مدیریت تغذیه تلفیقی در نظر گرفت. در این برنامه، عناصر آهن و روی به‌طور مستقیم از طریق کودهای خاک‌مصرف و محلول‌پاشی، از جمله سولفات آهن، کلات آهن Fe-EDDHA، سولفات روی و کودهای کامل حاوی عناصر کم‌مصرف، تأمین شدند. کاربرد کودهای آلی و زیستی نیز ممکن است از طریق بهبود شرایط محیط ریشه، افزایش فعالیت ریزجانداران و تولید ترکیبات آلی محلول، جذب عناصر غذایی را تسهیل کرده باشد. افزون بر این، اکسایش زیستی گوگرد به‌وسیله باکتری‌های تیوباسیلوس می‌تواند در خاک‌های آهکی موجب اسیدی‌شدن موضعی محیط ریشه و افزایش نسبی قابلیت دسترسی برخی عناصر شود. با این حال، از آنجا که pH خاک یا ریزوسفر و غلظت آهن و روی قابل استخراج پس از اجرای برنامه تغذیه اندازه‌گیری نشد، سهم مستقل گوگرد در افزایش غلظت این عناصر قابل تعیین نیست. بنابراین، سازوکارهای یادشده احتمالی هستند و افزایش آهن و روی برگ در پژوهش حاضر به اثر تلفیقی مجموعه نهاده‌ها و روش‌های کاربرد نسبت داده می‌شود.

در پاسخ به قابلیت دسترسی پایین آهن در خاک‌های قلیایی، مطالعات بسیاری به سمت بررسی کارایی سیدروفورهای میکروبی تولید شده توسط دامنه گسترده‌ای از ریزجانداران (به‌طور عمده باکتری‌ها و قارچ‌ها) هدایت شده‌اند (Sorrenti et al., 2012). افزایش جذب عناصر کم‌مصرف به ویژه آهن، منگنز و روی توسط گیاه با تولید سیدروفورهای گیاهی مرتبط می‌باشد (ارزانش و همکاران، ۱۳۹۱). باکتری‌های PGPR از طریق تولید آسزیک اسید که مربوط به پاسخ گیاه به تنش آبی است و تولید اکسین که باعث ایجاد ریشه‌های جانبی و افشان و تسهیل انتقال شعاعی آب و افزایش هدایت هیدرولیکی می‌شود، سبب بهبود تنظیم اسمزی گیاهان می‌شوند (Boiero et al., 2007). باکتری‌های سودوموناس از مهم‌ترین باکتری‌های ریزوسفری و فیلوسفری هستند که به دلیل توانایی بالا در رقابت با سایر ریزجانداران در بیشتر محیط‌ها مشاهده می‌شوند (Vyas and Gulati, 2009). گونه‌های سودوموناس که در کنترل قارچ‌های بیماری‌زا مؤثر هستند، با تنظیم اتیلن در گیاه از راه‌هایی مانند تولید سیدروفورها، سنتز آنتی بیوتیک‌ها، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش جذب فسفر توسط گیاه، تثبیت نیتروژن و سنتز آنزیم‌ها، سبب تحریک رشد گیاه می‌شوند (Henry et al., 2008). اثر باکتری‌های PGPR مانند *Bacillus amyloliquefaciens*، *Bacillus pumilus*، *Pseudomonas fluorescens* و *Azospirillum brasilense* بر افزایش رشد و جذب عناصر غذایی توسط محصولات مختلف کشاورزی گزارش شده است (Grobela et al., 2015).

جدول ۱. مقایسه میانگین عناصر غذایی در برگ درختان سیب تحت تأثیر مدیریت تلفیقی تغذیه دو ساله

باغ	نمونه	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		%	%	%	%	%	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
۱	شاهد	۲/۱۸ ± ۰/۰۸ b	۰/۲۳ ± ۰/۰۲ b	۱/۵۴ ± ۰/۱۱ b	۰/۰۶ ± ۰/۰۱ b	۱/۴۱ ± ۰/۰۷ b	۰/۴۲ ± ۰/۰۷ b	۸۵/۹ ± ۴/۴ b	۵۶/۹ ± ۳/۲ b	۳۰/۴ ± ۰/۷۴ b
	تیمار	۲/۴۱ ± ۰/۰۵ a	۰/۳۰ ± ۰/۰۳ a	۱/۸۵ ± ۰/۰۸ a	۰/۰۶ ± ۰/۰۱ a	۱/۸۵ ± ۰/۰۷ a	۰/۶۱ ± ۰/۰۴ a	۱۱۸/۷ ± ۴/۶ a	۷۵/۹ ± ۳/۲ a	۴۶/۳ ± ۰/۳۵ a
۲	شاهد	۱/۸۹ ± ۰/۰۴ b	۰/۱۸ ± ۰/۰۱ b	۰/۲۵ ± ۰/۰۱ b	۱/۲۰ ± ۰/۰۳ b	۱/۲۷ ± ۰/۰۴ b	۰/۳۲ ± ۰/۰۴ b	۸۴/۶ ± ۳/۵ b	۵۹/۲ ± ۳/۵ b	۳۱/۷ ± ۰/۶۱ b
	تیمار	۲/۲۶ ± ۰/۱۱ a	۰/۲۳ ± ۰/۰۱ a	۱/۶۹ ± ۰/۰۹ a	۰/۱۰ ± ۰/۰۱ a	۲/۰۱ ± ۰/۰۶ a	۰/۵۲ ± ۰/۰۶ a	۱۲۳/۲ ± ۲/۷ a	۷۹/۵ ± ۲/۴ a	۴۴/۸ ± ۰/۳۶ a
۳	شاهد	۱/۹۶ ± ۰/۰۶ b	۰/۲۲ ± ۰/۰۱ b	۱/۲۱ ± ۰/۰۱ b	۰/۱۶ ± ۰/۰۱ b	۱/۲۹ ± ۰/۰۱ b	۰/۳۷ ± ۰/۰۱ b	۸۴/۰ ± ۲/۶ b	۵۸/۰ ± ۳/۳ b	۳۰/۲ ± ۰/۳۵ b
	تیمار	۲/۲۸ ± ۰/۰۶ a	۰/۲۷ ± ۰/۰۲ a	۱/۸۵ ± ۰/۱۲ a	۰/۰۸ ± ۰/۰۱ a	۱/۹۱ ± ۰/۰۲ a	۰/۴۷ ± ۰/۰۲ a	۱۱۵/۴ ± ۲/۷ a	۷۸/۰ ± ۱/۸ a	۴۶/۲ ± ۰/۳۰ a
	حد مطلوب*	۲/۲-۲/۳	۰/۱-۰/۲	۱/۲-۲/۰	۱/۸-۲/۰	۰/۴-۰/۵	۱۰۰-۱۵۰	۷۰-۱۰۰	۴۰-۷۰	۱۰-۲۰

مقادیر به‌صورت انحراف معیار ± میانگین سه تکرار ارائه شده‌اند. حروف نامشابه برای هر عنصر در هر باغ نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بر

اساس آزمون دانکن هستند.

* حد مطلوب عناصر غذایی بر اساس گزارش ملکوتی و همکاران (۱۳۸۴) برای برگ‌های سیب برداشت‌شده در اواسط فصل رشد

نتایج مقایسه میانگین عناصر غذایی در برگ درختان هلو تحت تأثیر مدیریت تغذیه دو ساله در جدول ۲ ارائه شده‌اند. اثر افزایش مدیریت تغذیه بر مقدار تمام عناصر غذایی در برگ درختان تیمار شده در باغ‌های ۱ و ۳ معنی‌دار بود، درحالی‌که برای کلسیم، آهن و مس در باغ ۱ معنی‌دار نبود. بر اساس حدود مطلوب گزارش شده توسط ملکوتی و همکاران (۱۳۸۴)، مقادیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، منگنز، روی و مس در برگ درختان شاهد در هر سه باغ و مقدار آهن در برگ درختان شاهد باغ‌های ۱ و ۳ کمتر از حد بهینه قرار

داشتند. مقایسه نتایج جدول ۲ با حدود بهینه نشان می‌دهد که شدت کمبود عناصر غذایی مختلف در باغ‌های تحت مطالعه یکسان نبود. اگرچه، مقدار مس در برگ درختان تیمار شده نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد، اما همچنان کمتر از حد بهینه معرفی شده توسط ملکوتی و همکاران (۱۳۸۴) بود.

یکی از عوامل مهم ایجاد نارسایی‌های تغذیه‌ای در بستر رشد گیاه، تجمع مقدار زیاد بی‌کربنات در محلول خاک و ناحیه ریشه است که معمولاً ناشی از آهکی بودن خاک و حضور فراوان کربنات کلسیم می‌باشد. افزایش بی‌کربنات می‌تواند با بالا بردن pH شیره سلولی در آوندها، موجب رسوب یا کاهش قابلیت جذب برخی عناصر غذایی مانند فسفر، آهن و روی شود. همچنین، این ترکیب از طریق برهم‌کنش با سایر یون‌های موجود در محیط ریشه، تعادل تغذیه‌ای گیاه را مختل کرده و در نتیجه باعث کاهش رشد و افت عملکرد محصول می‌گردد. یکی از راه‌های برطرف کردن این مشکل، مصرف کودهای آلی در خاک است. اثرات مفید ناشی از افزودن کودهای آلی بر تغذیه آهن گیاه می‌تواند ناشی از توانایی مستقیم کلات‌کنندگی آهن توسط ترکیبات آلی مانند هیومیک اسید، آمینواسیدها، فنولیک‌ها، هیدروکسامات‌ها و سیدروفورهای کاتکول و تحریک فعالیت‌های میکروبی خاک و فعالیت ریشه (به عنوان مثال، ترشح پروتون توسط پمپ ATPase) باشد. علاوه بر این، ترکیب میکروبی برخی اصلاح‌کننده‌های آلی شامل بسیاری از ریزجاندارانی است که سیدروفورهای میکروبی مانند آئروباکتین را سنتز می‌کنند. ثابت شده است که آهن کلات شده توسط این سیدروفور مستقیماً توسط گیاه به صورت یک کمپلکس (آهن-آئروباکتین) جذب می‌شود (Sorrenti et al., 2012).

افزایش غلظت عناصر غذایی در برگ و میوه درختان تیمار شده را می‌توان نتیجه پاسخ درختان به کل برنامه مدیریت تغذیه تلفیقی دانست. این برنامه از منابع مختلف تغذیه‌ای شامل کودهای شیمیایی، کود دامی پوسیده، کودهای زیستی و محرک‌های رشد استفاده کرد که هر یک می‌توانند از مسیرهای متفاوت اما مکمل در تأمین عناصر غذایی و بهبود تغذیه گیاه نقش داشته باشند. کودهای شیمیایی، عناصر غذایی را در شکل‌های نسبتاً سریع‌الوصول در اختیار گیاه قرار می‌دهند، در حالی که منابع آلی علاوه بر تأمین تدریجی بخشی از عناصر غذایی، می‌توانند با افزایش ماده آلی و بهبود ظرفیت نگهداری و چرخه عناصر در خاک، زمینه مناسب‌تری برای تغذیه گیاه فراهم کنند. در یک مطالعه در باغ سیب، کاربرد توأم کود شیمیایی و کود گوسفندی موجب افزایش غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم برگ در مراحل مختلف رشد و بهبود عملکرد شد. همچنین، استفاده از ترکیبات مبتنی بر کود مرغی تخمیر شده در باغ سیب، غلظت نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و منیزیم برگ و میانگین عملکرد درختان را افزایش داد (Zhuang et al., 2024; Tóth et al., 2024). از این رو، استفاده تلفیقی از منابع آلی و معدنی می‌تواند نسبت به اتکا به یک منبع منفرد، امکان تأمین متعادل تر و پایدارتر عناصر غذایی را فراهم سازد.

جدول ۲. مقایسه میانگین عناصر غذایی در برگ درختان هلو تحت تأثیر مدیریت تلفیقی تغذیه دو ساله

باغ نمونه	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	%	%	%	%	%	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
۱ شاهد	۲/۱۷ ± ۰/۰۹ b	۰/۱۳ ± ۰/۰۱ b	۱/۷۴ ± ۰/۰۷ b	۱/۶۳ ± ۰/۰۵ b	۰/۴۲ ± ۰/۰۱ b	۸۸/۹ ± ۱/۹ b	۵۷/۱ ± ۴/۲ b	۲۱/۵ ± ۱/۲ b	۹/۶۳ ± ۰/۴۵ b
۱ تیمار	۲/۵۶ ± ۰/۰۷ a	۰/۲۲ ± ۰/۰۱ a	۲/۴۱ ± ۰/۱۳ a	۲/۲۳ ± ۰/۰۶ a	۰/۶۵ ± ۰/۰۳ a	۱۱۷/۶ ± ۳/۷ a	۷۲/۱ ± ۳/۹ a	۲۸/۲ ± ۲/۲ a	۱۱/۹۰ ± ۰/۴۶ a
۲ شاهد	۲/۱۷ ± ۰/۱۰ b	۰/۱۶ ± ۰/۰۱ b	۱/۸۱ ± ۰/۱۱ b	۱/۶۱ ± ۰/۱۴ a	۰/۳۸ ± ۰/۰۳ b	۱۰۷/۱ ± ۸/۴ a	۵۰/۶ ± ۷/۰ b	۲۸/۴ ± ۲/۶ b	۹/۹۰ ± ۰/۳۶ a
۲ تیمار	۲/۶۷ ± ۰/۱۳ a	۰/۲۱ ± ۰/۰۰ a	۲/۵۹ ± ۰/۱۰ a	۲/۰۰ ± ۰/۱۱ a	۰/۵۹ ± ۰/۰۱ a	۱۲۵/۷ ± ۱۱/۵ a	۷۱/۲ ± ۲/۹ a	۳۴/۵ ± ۲/۴ a	۱۱/۹۰ ± ۰/۷۲ a
۳ شاهد	۲/۱۸ ± ۰/۰۲ b	۰/۱۵ ± ۰/۰۱ b	۱/۷۹ ± ۰/۰۶ b	۱/۵۳ ± ۰/۱۲ b	۰/۴۰ ± ۰/۰۵ b	۸۶/۵ ± ۵/۷ b	۵۷/۷ ± ۲/۷ b	۲۱/۹ ± ۱/۰ b	۸/۵۷ ± ۰/۴۰ b
۳ تیمار	۲/۵۶ ± ۰/۱۰ a	۰/۲۲ ± ۰/۰۱ a	۲/۶۸ ± ۰/۱۱ a	۲/۰۸ ± ۰/۱۸ a	۰/۵۵ ± ۰/۰۶ a	۱۰۸/۴ ± ۴/۲ a	۷۱/۴ ± ۱/۲ a	۲۷/۴ ± ۱/۲ a	۱۰/۷۷ ± ۰/۴۰ a
حد مطلوب*	۲/۵-۳/۰	۰/۲-۰/۳	۲/۲-۳/۲	۱/۷-۲/۵	۰/۵-۰/۸	۱۰۰-۱۵۰	۷۰-۱۵۰	۳۰-۵۰	۱۵-۲۰

مقادیر به صورت انحراف معیار ± میانگین سه تکرار ارائه شده‌اند. حروف نامشابه برای هر عنصر در هر باغ نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بر اساس

آزمون دانکن هستند.

* حد مطلوب عناصر غذایی بر اساس گزارش ملکوتی و همکاران (۱۳۸۴) برای برگ‌های هلو برداشت‌شده در اواسط فصل رشد

کودهای زیستی تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات و همچنین تیوباسیلوس مصرف‌شده همراه با گوگرد نیز ممکن است نقش مکملی در تأمین یا افزایش فراهمی عناصر غذایی داشته باشند. باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌توانند بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه



را از مسیرهای زیستی فراهم کنند و باکتری‌های حل‌کننده فسفات می‌توانند تبدیل بخشی از ترکیبات کم‌محلول فسفر به شکل‌های قابل جذب‌تر را تسهیل کنند. تیوباسیلوس نیز از طریق اکسایش گوگرد می‌تواند در مقیاس موضعی شرایط مناسب‌تری برای فراهمی برخی عناصر در خاک‌های آهکی ایجاد کند. نتایج یک ارزیابی چندساله در باغ سیب رقم گالا نشان داد که کاربرد کودهای زیستی میکروبی در کنار کاهش مصرف کود معدنی می‌تواند وضعیت برخی عناصر برگ، از جمله نیتروژن، فسفر، منیزیم و روی، را تحت تأثیر قرار دهد؛ هرچند شدت پاسخ به نوع فرآورده، مقدار مصرف و شرایط سال وابسته بود (Ferreira et al., 2025). در پژوهش حاضر جمعیت، استقرار و فعالیت میکروارگانیسم‌های تلقیح‌شده، فعالیت آنزیم‌های خاک و تغییر pH ناحیه ریشه اندازه‌گیری نشد؛ از این رو، سهم مستقل کودهای زیستی و تیوباسیلوس در افزایش عناصر برگ قابل تعیین نیست.

محرک‌های رشد مورد استفاده در سال دوم، شامل فرآورده‌های حاوی آمینواسید، آمینوکلات کلسیم و عصاره جلبک دریایی، نیز ممکن است از طریق بهبود فعالیت‌های فیزیولوژیک، حفظ کلروفیل، توسعه سطح برگ، تنظیم روابط آبی و تسهیل جذب یا انتقال عناصر، پاسخ درختان به برنامه تغذیه را تقویت کرده باشند. محققان گزارش کردند که محلول‌پاشی آمینواسیدهایی مانند گلوتامیک اسید، متیونین، تربیتوفان و لیزین در درختان هلو موجب افزایش کلروفیل، سطح برگ، عملکرد، کیفیت میوه و غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ شد (Al-Saif et al., 2024). نتایج یک پژوهش در یک باغ سیب رقم Golden Delicious در سمیرم نشان داد که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی موجب افزایش عملکرد و غلظت نیتروژن، فسفر و آهن برگ شد (Mousavi et al., 2024). در یک پژوهش دیگر روی سیب رقم Red Delicious نیز کاربرد برگی عصاره جلبک دریایی و آمینواسید بر رشد، وضعیت عناصر برگ و شاخص‌های عملکرد اثر گذاشت (صالحی و همکاران، ۱۴۰۴). این نتایج از نقش مکمل محرک‌های رشد در مدیریت تغذیه درختان میوه حمایت می‌کنند؛ با این حال، ترکیب، غلظت و شرایط کاربرد فرآورده‌ها در مطالعات مختلف یکسان نیست و نتایج آن‌ها نباید مستقیماً به همه شرایط باغی تعمیم داده شود.

تأثیر مدیریت تغذیه بر مقدار عناصر غذایی در میوه سیب و هلو

نتایج مقایسه میانگین غلظت عناصر غذایی در میوه سیب پس از اجرای برنامه مدیریت تغذیه از زمستان ۱۴۰۲ تا تابستان ۱۴۰۴ در جدول ۳ ارائه شده است. مدیریت تغذیه غلظت تمام عناصر اندازه‌گیری‌شده در میوه سیب را افزایش داد و این افزایش، به‌جز پتاسیم در باغ ۳، از نظر آماری معنی‌دار بود. حدود مطلوب عناصر غذایی میوه سیب در گزارش ملکوتی و همکاران (۱۳۸۴) بر پایه وزن تازه ارائه شده‌اند؛ از این رو، برای مقایسه با نتایج پژوهش حاضر، با استفاده از ماده خشک ۱۴ درصد به مبنای وزن خشک تبدیل شدند. بر این اساس، دامنه‌های مطلوب معادل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم به‌ترتیب حدود ۲۸۶ تا ۴۲۹، ۷۱ تا ۱۰۷، ۹۲۹ تا ۱۴۲۹، ۳۶ تا ۵۷ و ۳۶ تا ۵۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک و دامنه یا مقدار مطلوب آهن، منگنز، روی و مس به‌ترتیب حدود ۱۴ تا ۲۱، ۷، ۷ و ۳/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک بود. در مقایسه با این مقادیر، غلظت نیتروژن میوه در هر دو گروه شاهد و تیمارشده در هر سه باغ بالاتر از دامنه مطلوب قرار داشت. در میوه درختان شاهد، غلظت فسفر، آهن، منگنز و روی در هر سه باغ، پتاسیم در باغ ۲، کلسیم و منیزیم در باغ ۳ و مس در باغ‌های ۱ و ۲ کمتر از حدود مطلوب بود. پس از اجرای مدیریت تغذیه، غلظت فسفر، پتاسیم و آهن میوه در هر سه باغ در دامنه مطلوب قرار گرفت و مقادیر منگنز، روی و مس به مقدار مطلوب یا بالاتر از آن رسید. غلظت کلسیم و منیزیم میوه در باغ ۳ در دامنه مطلوب قرار داشت، درحالی‌که مقادیر این عناصر در باغ‌های ۱ و ۲ از حد بالای دامنه مطلوب بیشتر بود.

نتایج مربوط به غلظت عناصر غذایی در میوه هلو در جدول ۴ ارائه شده است. مدیریت تغذیه موجب افزایش غلظت تمام عناصر اندازه‌گیری‌شده در میوه هلو شد و این افزایش، به‌جز مس در باغ ۲، از نظر آماری معنی‌دار بود. حدود مطلوب عناصر غذایی میوه هلو نیز در گزارش ملکوتی و همکاران (۱۳۸۴) بر پایه وزن تازه ارائه شده‌اند و برای مقایسه با داده‌های پژوهش حاضر، با استفاده از ماده خشک ۱۱/۱ درصد به مبنای وزن خشک تبدیل شدند. مقادیر مطلوب معادل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم به‌ترتیب حدود ۱۳۵۱، ۱۸۰، ۱۸۰۲، ۶۳ و ۹۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک و مقادیر مطلوب آهن، منگنز، روی و مس به‌ترتیب حدود ۲۲/۵، ۹، ۱۵/۳ و ۶/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک محاسبه شدند. بر این اساس، غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز و مس در میوه درختان شاهد هر سه باغ کمتر از مقادیر مطلوب بود. غلظت روی در میوه درختان شاهد باغ ۱ کمتر از حد مطلوب و در باغ‌های ۲ و ۳ نزدیک به حد مطلوب قرار داشت. پس از اجرای مدیریت تغذیه، غلظت آهن و روی میوه در هر سه باغ به مقدار مطلوب یا بالاتر از آن رسید. فسفر و پتاسیم در بیشتر باغ‌ها به مقدار مطلوب نزدیک شدند، درحالی‌که وضعیت کلسیم در میان باغ‌ها متفاوت بود. با وجود افزایش غلظت نیتروژن، منیزیم و مس در میوه درختان تیمارشده، مقادیر این عناصر همچنان کمتر از مقادیر مطلوب باقی ماند. منگنز نیز در باغ‌های ۱ و ۳ به مقدار

مطلوب رسید، اما در باغ ۲ اندکی کمتر از حد مطلوب بود. این نتایج نشان می‌دهد که پاسخ غلظت عناصر غذایی میوه به مدیریت تغذیه در باغ‌های مختلف یکسان نبود و افزایش غلظت عناصر الزاماً به قرار گرفتن همه آن‌ها در دامنه مطلوب منجر نشد.

جدول ۳. مقایسه میانگین عناصر غذایی در میوه سیب تحت تأثیر مدیریت تلفیقی تغذیه دو ساله

نمونه	باغ	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		mg 100g ⁻¹	mg 100g ⁻¹	mg 100g ⁻¹	mg 100g ⁻¹	mg 100g ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
۱	شاهد	۵۸۵ ± ۳۲ b	۶۹ ± ۷/۶ b	۹۶۰ ± ۶۲ b	۴۴ ± ۴/۰ b	۴۱ ± ۵/۰ b	۱۰/۲ ± ۰/۸ b	۴/۷ ± ۰/۶ b	۴/۴ ± ۰/۸ b	۲/۳ ± ۰/۳ b
	تیمار	۷۱۸ ± ۴۲ a	۱۰۶ ± ۴/۶ a	۱۲۵۴ ± ۴۲ a	۶۳ ± ۴/۶ a	۵۶ ± ۳/۶ a	۱۵/۶ ± ۰/۶ a	۸/۰ ± ۰/۷ a	۷/۸ ± ۱/۳ a	۴/۰ ± ۰/۳ a
۲	شاهد	۵۲۰ ± ۳۲ b	۷۱ ± ۴/۰ b	۸۱۳ ± ۳۱ b	۳۹ ± ۲/۳ b	۳۹ ± ۳/۶ b	۱۱/۵ ± ۰/۸ b	۴/۹ ± ۰/۲ b	۴/۴ ± ۰/۸ b	۲/۷ ± ۰/۲ b
	تیمار	۶۷۵ ± ۳۳ a	۹۲ ± ۳/۶ a	۱۰۵۴ ± ۵۰ a	۵۹ ± ۴/۶ a	۵۶ ± ۲/۹ a	۱۶/۷ ± ۰/۸ a	۷/۶ ± ۰/۴ a	۷/۷ ± ۰/۹ a	۳/۹ ± ۰/۲ a
۳	شاهد	۵۶۳ ± ۳۰ b	۶۵ ± ۵/۱ b	۱۰۰۰ ± ۱۵۲ a	۳۱ ± ۲/۳ b	۲۶ ± ۴/۷ b	۱۱/۱ ± ۰/۵ b	۵/۰ ± ۰/۴ b	۴/۹ ± ۰/۵ b	۴/۰ ± ۰/۳ b
	تیمار	۶۸۴ ± ۴۲ a	۸۴ ± ۴/۲ a	۱۳۱۴ ± ۱۱۴ a	۵۵ ± ۲/۳ a	۴۲ ± ۴/۰ a	۱۶/۰ ± ۰/۹ a	۷/۷ ± ۰/۴ a	۷/۴ ± ۰/۴ a	۱۱/۸۰ ± ۰/۳ a
	حد مطلوب*	۴۰-۶۰	۱۰-۱۵	۱۳۰-۲۰۰	۵-۸	۵-۷	۰/۲-۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵

مقادیر به صورت انحراف معیار ± میانگین سه تکرار ارائه شده‌اند. حروف نامشابه برای هر عنصر در هر باغ نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بر اساس آزمون دانکن هستند.

* حد مطلوب عناصر غذایی بر اساس گزارش ملکوتی و همکاران (۱۳۸۴) بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه میوه سیب (درصد ماده خشک میوه سیب در این گزارش برابر ۱۴ درصد ذکر شده است)

جدول ۴. مقایسه میانگین عناصر غذایی در میوه هلو تحت تأثیر مدیریت تلفیقی تغذیه دو ساله

نمونه	باغ	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		mg 100g ⁻¹	mg 100g ⁻¹	mg 100g ⁻¹	mg 100g ⁻¹	mg 100g ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
۱	شاهد	۸۲۲ ± ۴۹ b	۱۴۲ ± ۶/۱ b	۱۶۳۱ ± ۵۸ b	۵۵ ± ۶/۱ b	۵۱ ± ۳/۶ b	۱۸/۷ ± ۰/۴ b	۷/۰ ± ۰/۳ b	۹/۳ ± ۰/۹ b	۳/۴ ± ۰/۳ b
	تیمار	۱۲۸۸ ± ۴۳ a	۱۷۴ ± ۱/۰ a	۱۸۶۵ ± ۵۰ a	۷۳ ± ۶/۱ a	۶۲ ± ۳/۵ a	۲۵/۹ ± ۱/۲ a	۹/۹ ± ۰/۵ a	۱۵/۷ ± ۱/۵ a	۵/۳ ± ۰/۳ a
۲	شاهد	۹۱۷ ± ۳۹ b	۱۶۵ ± ۴/۴ b	۱۵۰۸ ± ۷۲ b	۴۱ ± ۲/۳ b	۵۲ ± ۳/۶ b	۲۰/۳ ± ۱/۶ b	۳/۸ ± ۰/۴ b	۱۵/۷ ± ۱/۱ b	۴/۰ ± ۰/۵ a
	تیمار	۱۳۳۳ ± ۲۹ a	۱۸۰ ± ۲/۶ a	۱۷۴۹ ± ۶۹ a	۵۶ ± ۴/۰ a	۷۳ ± ۱/۲ a	۲۵/۴ ± ۱/۸ a	۸/۱ ± ۰/۵ a	۱۸/۸ ± ۰/۷ a	۵/۲ ± ۰/۴ a
۳	شاهد	۸۸۷ ± ۵۰ b	۱۵۱ ± ۹/۸ b	۱۶۸۲ ± ۳۱ b	۴۸ ± ۴/۰ b	۴۸ ± ۶/۲ b	۱۸/۴ ± ۱/۱ b	۶/۶ ± ۰/۳ b	۱۵/۲ ± ۰/۷ b	۴/۰ ± ۰/۴ b
	تیمار	۱۲۹۸ ± ۶۱ a	۱۷۸ ± ۳/۶ a	۱۸۰۲ ± ۳۱ a	۶۳ ± ۲/۳ a	۶۹ ± ۲/۹ a	۲۵/۶ ± ۱/۸ a	۹/۰ ± ۰/۳ a	۱۸/۱ ± ۱/۰ a	۵/۳ ± ۰/۳ a
	حد مطلوب*	۱۵۰	۲۰	۲۰۰	۷	۱۰	۰/۲۵	۰/۱۰	۰/۱۷	۰/۰۷

مقادیر به صورت انحراف معیار ± میانگین سه تکرار ارائه شده‌اند. حروف نامشابه برای هر عنصر در هر باغ نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بر اساس آزمون دانکن هستند.

* حد مطلوب عناصر غذایی بر اساس گزارش ملکوتی و همکاران (۱۳۸۴) بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه میوه هلو (درصد ماده خشک میوه هلو در این گزارش برابر ۱۱/۱ درصد ذکر شده است)

در تفسیر غلظت عناصر غذایی میوه، علاوه بر مقایسه با حدود مطلوب، باید اثر رقت ناشی از رشد میوه نیز مورد توجه قرار گیرد. با افزایش رشد و تجمع آب، کربوهیدرات‌ها و ماده خشک در میوه، ممکن است غلظت یک عنصر کاهش یابد، حتی در شرایطی که مقدار کل همان عنصر در میوه افزایش یافته باشد. در مقابل، غلظت بیشتر یک عنصر در میوه‌های کوچک‌تر الزاماً به معنای جذب یا انتقال بیشتر آن عنصر نیست. در پژوهش حاضر نتایج بر پایه ماده خشک گزارش شدند؛ بنابراین، اثر تغییرات مقدار آب میوه تا حد زیادی کنترل شده است، اما اثر رقت ناشی از تفاوت در تجمع ماده خشک و اندازه میوه همچنان می‌تواند بر غلظت عناصر مؤثر باشد. از این رو، مقایسه با حدود مطلوب گزارش شده، وضعیت نسبی عناصر غذایی میوه را نشان می‌دهد و لزوماً بیانگر مقدار کل عنصر تجمع یافته در هر میوه نیست.

با کاربرد کودهای آلی، فعالیت زیستی خاک، معدنی شدن نیتروژن و به دنبال آن، افزایش قابلیت استفاده نیتروژن خاک برای درختان افزایش می‌یابد. مصرف کودهای آلی موجب بهبود ظرفیت ذخیره عناصر غذایی در خاک و افزایش عملکرد در مقایسه با تیمار بدون کود می‌شود. حسن‌زاده نارنج‌بنی و همکاران (۱۳۹۷) بیان کردند که استفاده از چهار نوع کود آلی و همچنین کود شیمیایی کامل، در مقایسه با تیمار شاهد بدون مصرف کود، باعث افزایش معنی‌دار غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در برگ و میوه کیوی شد و میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجود در برگ و میوه، رابطه مستقیمی با عملکرد درختان کیوی داشت. همچنین، نتایج این پژوهش نشان



داد که بین عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و میوه ارتباط مستقیم وجود داشت و افزایش نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ سبب افزایش این عناصر در میوه شد. نیتروژن و فسفر برگ از میوه بیشتر، پتاسیم برگ و میوه تقریباً برابر و کلسیم میوه کمتر از برگ بود. یون‌های پتاسیم تحرک بسیار زیادی در بافت‌های گیاهی دارند، درحالی‌که به دلیل تحرک کم کلسیم، انتقال کلسیم از برگ به میوه کمتر است (Havlin et al., 2014).

افزایش غلظت عناصر غذایی در میوه درختان تیمار شده را می‌توان نتیجه تأمین متعادل و پیوسته عناصر از منابع مختلف برنامه مدیریت تغذیه تلفیقی دانست. در این برنامه، نیتروژن از طریق سولفات آمونیوم، اوره، اوره‌فسفات و کودهای کامل، فسفر از طریق سوپرفسفات تریپل و اوره‌فسفات، پتاسیم از طریق سولفات پتاسیم و کودهای کامل، کلسیم از طریق کلرید کلسیم، نترات کلسیم و آمینوکالات کلسیم و منیزیم از طریق سولفات منیزیم تأمین شد. همچنین، آهن، روی، منگنز، مس و بور از طریق منابع خاک‌مصرف، کلات‌ها و کودهای کامل کم‌مصرف در اختیار درختان قرار گرفتند. کاربرد این منابع در مراحل مختلف رشد میوه می‌تواند دسترسی گیاه به عناصر، جذب آن‌ها و انتقال به اندام‌های زایشی را افزایش دهد.

با این حال، پاسخ غلظت عناصر میوه به کوددهی همیشه هم‌جهت نیست و به نوع و تعادل منابع مصرفی وابسته است. محققان نشان دادند که کوددهی نیتروژنی، غلظت نیتروژن میوه سبب را افزایش داد، اما با افزایش مقدار نیتروژن، غلظت فسفر و پتاسیم میوه در برخی سال‌ها کاهش یافت و غلظت کلسیم و منیزیم تغییر معنی‌داری نداشت (Kowalczyk et al., 2022). این نتایج نشان می‌دهد که افزایش همه عناصر میوه را نمی‌توان به مصرف کود نیتروژنی نسبت داد و تأمین اختصاصی هر عنصر و برهم‌کنش‌های تغذیه‌ای میان عناصر باید مورد توجه قرار گیرد.

در مطالعه دیگر نیز کاربرد برنامه‌های مختلف کوددهی معدنی و آلی در باغ سیب رقم Royal Gala، غلظت تعدادی از عناصر معدنی گوشت میوه را تغییر داد و برنامه متعادل NPK در مقایسه با مقادیر بیشتر کود معدنی یا ترکیب نامتعادل منابع، پروفایل معدنی مناسب‌تری در میوه ایجاد کرد. با این حال، همه عناصر پاسخ یکسانی به کوددهی نداشتند و شرایط خاک نقش مهمی در میزان انتقال عناصر به میوه داشت (Duarte et al., 2024). این یافته نشان می‌دهد که افزایش غلظت فسفر، پتاسیم و سایر عناصر میوه بیش از مقدار کل کود، به تعادل منابع غذایی و فراهمی آن‌ها در محیط ریشه وابسته است.

کودهای زیستی نیز می‌توانند از طریق افزایش فراهمی و جذب چند عنصر، ترکیب معدنی میوه را تحت تأثیر قرار دهند. محققان گزارش کردند که کاربرد ریزوباکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات در درختان سیب، غلظت عناصر پرمصرف میوه را بین ۴/۹ تا ۱۳/۵ درصد و عناصر کم‌مصرف را بین ۹/۵ تا ۴۱/۸ درصد افزایش داد. بیشترین افزایش در میان عناصر پرمصرف مربوط به کلسیم و در میان عناصر کم‌مصرف مربوط به منگنز بود. غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز، روی و مس میوه تحت تأثیر این باکتری‌ها قرار گرفت، هرچند شدت پاسخ به رقم و پایه درخت وابسته بود (Yildiz et al., 2022). این نتایج نشان می‌دهد که کودهای زیستی علاوه بر نیتروژن و فسفر، می‌توانند از طریق توسعه ریشه، تغییر شرایط ریزوسفر و افزایش فراهمی عناصر کم‌مصرف، جذب و انتقال طیف وسیع‌تری از عناصر را به میوه تسهیل کنند.

تأمین مستقیم کلسیم و آهن نیز می‌تواند ترکیب معدنی میوه را تغییر دهد. در پژوهشی در باغ سیب رقم Red Delicious واقع در خاک آهکی گزارش شد که کاربرد خاکی نترات کلسیم و آهن کلاته در مراحل رشد میوه، غلظت برخی عناصر معدنی برگ و میوه را تغییر داد و کاربرد آهن کلاته با افزایش غلظت کلسیم میوه همراه بود (Khakpour et al., 2022). این نتیجه نشان‌دهنده وجود برهم‌کنش میان منابع کودی و جذب و انتقال عناصر است و تأکید می‌کند که پاسخ یک عنصر ممکن است تحت تأثیر کاربرد عنصر دیگری قرار گیرد. از سوی دیگر، نتایج یک پژوهش نشان دادند که محلول‌پاشی کلسیم پیش از برداشت تنها در برخی ارقام موجب افزایش کلسیم میوه شد؛ بنابراین، انتقال عناصر کم‌تحرکی مانند کلسیم به میوه علاوه بر مقدار کود مصرفی، به رقم، زمان کاربرد و شرایط فیزیولوژیک میوه وابسته است (Wood et al., 2024).

بر این اساس، افزایش نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز، روی و مس در برگ و میوه در پژوهش حاضر احتمالاً حاصل تأمین مستقیم هر عنصر از طریق کودهای شیمیایی، آزادسازی تدریجی عناصر از کود حیوانی، افزایش فراهمی عناصر توسط کودهای زیستی و نقش مکمل محلول‌پاشی‌ها و محرک‌های رشد در جذب و انتقال عناصر بوده است. با این حال، از آنجاکه همه این نهاده‌ها به‌صورت هم‌زمان و در قالب یک بسته مدیریت تغذیه تلفیقی مصرف شدند، سهم مستقل هر منبع کودی در افزایش غلظت یک عنصر مشخص قابل تعیین نیست و تغییرات مشاهده‌شده باید به اثر تجمعی کل برنامه تغذیه نسبت داده شوند.

تأثیر مدیریت تغذیه بر شاخص‌های تعادل تغذیه‌ای در باغ‌های سیب و هلو

در باغ‌های سیب ۱، ۲ و ۳، میانگین عملکرد درختان شاهد به ترتیب $8/3 \pm 93/3$ ، $10/3 \pm 101/3$ و $9/2 \pm 88/7$ کیلوگرم در درخت بود. میانگین عملکرد درختان تیمار شده در همین باغ‌ها نیز به ترتیب $10/3 \pm 109/3$ ، $8/8 \pm 117/3$ و $9/9 \pm 105/3$ کیلوگرم در درخت به دست آمد. در باغ‌های هلو ۱، ۲ و ۳، درختان شاهد به ترتیب عملکردی برابر با $4/9 \pm 43/3$ ، $3/9 \pm 16/0$ و $5/2 \pm 25/3$ کیلوگرم در درخت داشتند. در مقابل، میانگین عملکرد درختان تیمار شده در این سه باغ به ترتیب $6/5 \pm 60/0$ ، $3/7 \pm 22/0$ و $5/1 \pm 46/0$ کیلوگرم در درخت بود.

در محاسبات کیت-نلسون، میانگین عملکرد پنج درخت تشکیل دهنده هر نمونه مرکب برگ، به عنوان عملکرد متناظر همان واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. بنابراین، در هر باغ شش واحد آزمایشی مرکب، شامل سه واحد شاهد و سه واحد تیمار شده، وجود داشت که هر یک دارای یک مقدار عملکرد و یک پروفایل متناظر از غلظت عناصر غذایی برگ بود. بر اساس روش آماری کیت-نلسون، عملکردهای ۱۰۱، ۱۰۹ و ۹۸ کیلوگرم در درخت به ترتیب به عنوان عملکرد بحرانی برای تفکیک جوامع با عملکرد کم و زیاد در باغ‌های سیب ۱، ۲ و ۳ و عملکردهای ۵۱، ۲۰ و ۳۶ کیلوگرم در درخت به ترتیب به عنوان عملکرد بحرانی برای تفکیک جوامع با عملکرد کم و زیاد در باغ‌های هلو ۱، ۲ و ۳ در نظر گرفته شدند. در هر شش باغ مورد مطالعه، سه واحد آزمایشی شاهد در زیرگروه کم عملکرد و سه واحد آزمایشی تیمار شده در زیرگروه پر عملکرد قرار گرفتند. عملکرد نسبتاً پایین باغ‌های هلو علاوه بر وضعیت تغذیه‌ای، ممکن است تحت تأثیر تنش‌های غیرتغذیه‌ای نیز قرار گرفته باشد. باغ‌های هلو ۱ و به ویژه ۳ با بیماری شانکر باکتریایی مواجه بودند و باغ هلو ۲ نیز از سرمای نابهنگام خسارت شدیدی متحمل شد. بنابراین، مقادیر عملکرد بحرانی و شاخص‌های تغذیه‌ای این باغ‌ها باید با توجه به اثر هم‌زمان عوامل زیستی و اقلیمی تفسیر شوند و نمی‌توان تمام تفاوت عملکرد را صرفاً به وضعیت عناصر غذایی نسبت داد.

میانگین و انحراف معیار نسبت‌های لگاریتمی عناصر غذایی در زیرگروه با عملکرد زیاد، به عنوان مقادیر مرجع محلی برای محاسبه شاخص‌های CND در همان باغ استفاده شدند. این مقادیر برای برگ درختان سیب و هلو به ترتیب در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده‌اند. منفی بودن مقادیر لگاریتمی آهن، منگنز، روی و مس ناشی از کمتر بودن غلظت نسبی این عناصر در مقایسه با میانگین هندسی کل اجزای تشکیل دهنده بافت برگ بود و به تنهایی نشان دهنده کمبود قطعی آن‌ها نیست. شاخص هر عنصر غذایی (IX) و شاخص کلی عدم تعادل تغذیه‌ای (CND-r²) در واحدهای کم عملکرد در جدول ۷ ارائه شده‌اند. مقادیر مرجع محلی و شاخص‌های CND-r² منعکس کننده ترکیب نسبی عناصر غذایی در شرایط محیطی و مدیریتی همان باغ هستند. شاخص استاندارد شده هر عنصر، جهت و شدت انحراف نسبی آن عنصر از ترکیب تغذیه‌ای زیرگروه پر عملکرد را نشان می‌دهد (Khiari et al., 2001).

شدت و الگوی عدم تعادل تغذیه‌ای در میان سه باغ سیب یکسان نبود. زیرگروه کم عملکرد باغ سیب ۳ بیشترین و زیرگروه کم عملکرد باغ سیب ۲ کمترین مقدار شاخص CND-r² را نشان دادند. در باغ سیب ۱، روی منفی‌ترین شاخص IX را داشت و به عنوان مهم‌ترین عنصر بالقوه محدود کننده عملکرد شناخته شد، در حالی که نیتروژن بزرگترین شاخص IX را نشان داد. در باغ سیب ۲، کلسیم منفی‌ترین و نیتروژن بیشترین شاخص IX را داشت. در باغ سیب ۳ نیز فسفر دارای منفی‌ترین شاخص IX بود، در حالی که مس بیشترین شاخص را نشان داد. بر این اساس، عناصر روی، کلسیم و فسفر به ترتیب در باغ‌های سیب ۱، ۲ و ۳ بیشترین اولویت را از نظر بررسی‌های تغذیه‌ای تکمیلی داشتند.

جدول ۵. اعداد مرجع CND در برگ درختان سیب با عملکرد زیاد (تیمار)

باغ	آماره	V*(N)	V*(P)	V*(K)	V*(Ca)	V*(Mg)	V*(Cu)	V*(Mn)	V*(Zn)	V*(Fe)	V*(Rd)
۱	میانگین	۲/۵۳	۰/۴۲	۲/۲۶	۲/۳۳	۱/۱۵	-۵/۱۱	-۳/۲۳	-۳/۷۳	-۲/۷۹	۶/۱۸
	انحراف معیار	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۲
۲	میانگین	۲/۵۱	۰/۲۲	۲/۲۱	۲/۳۹	۱/۰۳	-۵/۰۴	-۳/۱۴	-۳/۷۱	-۲/۷۰	۶/۳۳
	انحراف معیار	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲
۳	میانگین	۲/۵۱	۰/۳۸	۲/۳۰	۲/۳۳	۰/۹۴	-۵/۰۶	-۳/۱۷	-۳/۶۹	-۲/۷۷	۶/۲۲
	انحراف معیار	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۱



جدول ۶. اعداد مرجع CND در برگ درختان هلو با عملکرد زیاد (تیمار)

باغ	آماره	V*(N)	V*(P)	V*(K)	V*(Ca)	V*(Mg)	V*(Cu)	V*(Mn)	V*(Zn)	V*(Fe)	V*(Ra)
۱	میانگین	۲/۶۲	۰/۱۵	۲/۵۶	۲/۴۸	۱/۲۶	-۵/۰۵	-۳/۲۵	-۴/۱۹	-۲/۷۶	۶/۲۰
	انحراف معیار	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۳
۲	میانگین	۲/۶۵	۰/۱۱	۲/۶۲	۲/۳۶	۱/۱۴	-۵/۰۹	-۳/۲۸	-۴/۰۰	-۲/۷۱	۶/۱۹
	انحراف معیار	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۱
۳	میانگین	۲/۶۵	۰/۱۹	۲/۷۰	۲/۴۴	۱/۱۲	-۵/۱۲	-۳/۲۳	-۴/۱۹	-۲/۸۱	۶/۲۴
	انحراف معیار	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۲

جدول ۷. شاخص‌های CND و ترتیب کمبود عناصر غذایی در برگ درختان سیب و هلو با عملکرد کم (شاهد)

نمونه	باغ	NI	PI	KI	CaI	MgI	CuI	MnI	ZnI	FeI	RdI	CND-r ²	ترتیب کمبود عناصر غذایی
برگ سیب	۱	۱۲/۰	۰/۱۴	۱/۵۴	-۰/۹۶	-۱/۸۶	-۲/۱۱	-۱/۰۹	-۲/۷۸	-۱/۲۸	۱۷/۴	۴۶۸	Zn>Cu>Mg>Fe>Mn>Ca>P>K>N
	۲	۲/۸۸	۱/۰۷	-۱/۷۶	-۳/۵۷	-۱/۷۴	۱/۳۳	۰/۰۹	-۱/۵۷	-۲/۳۳	۱۳/۰	۲۰۶	Ca>Fe>K>Mg>Zn>Mn>P>Cu>N
	۳	۴/۷۱	-۴/۶۶	-۱/۹۰	-۲/۵۷	۰/۹۱	۵/۱۱	-۰/۰۸	-۲/۳۲	-۰/۸۸	۴۹/۲	۲۵۱۳	P>Ca>Zn>K>Fe>Mn>Mg>N>Cu
برگ هلو	۱	۳/۱۳	-۳/۹۵	-۱/۳۹	-۸/۵۷	-۷/۳۴	۱/۹۲	۱/۲۸	-۰/۰۶	-۱/۲۸	۹/۵۵	۲۵۳	Ca>Mg>P>K>Fe>Zn>Mn>Cu>N
	۲	۰/۵۱	-۳/۸۱	-۳/۳۳	۰/۳۳	-۱۲/۱	۱/۹۳	-۲/۹۴	۰/۶۶	۰/۹۳	۳۸/۶	۱۶۷۴	Mg>P>K>Mn>Ca>Zn>Fe>N>Cu
	۳	۱/۴۷	-۳/۵۷	-۵/۵۲	-۰/۸۷	-۰/۷۹	۰/۲۶	۱/۰۰	۰/۴۲	۰/۳۴	۱۲/۸	۲۱۱	K>P>Ca>Mg>Cu>Fe>Zn>Mn>N

شناسایی روی به عنوان عنصر دارای منفی‌ترین شاخص در باغ سیب ۱ با حساسیت درختان میوه به کمبود روی در خاک‌های آهکی و دارای pH زیاد سازگار است. کاهش قابلیت دسترسی روی در چنین خاک‌هایی می‌تواند در اثر جذب سطحی، رسوب و کاهش تحرک این عنصر در محیط ریشه رخ دهد. از سوی دیگر، منفی بودن شاخص کلسیم در باغ سیب ۲ لزوماً به معنای کمبود کلسیم کل خاک نیست؛ زیرا جذب و انتقال کلسیم در درخت به رطوبت خاک، رشد ریشه، رقابت با پتاسیم و منیزیم و شدت تعرق اندام‌ها وابسته است. منفی بودن شاخص فسفر در باغ سیب ۳ نیز می‌تواند با کاهش قابلیت دسترسی فسفر در خاک‌های آهکی و تشکیل ترکیبات کم‌محلول فسفات کلسیم ارتباط داشته باشد. با این حال، از آنجا که ویژگی‌های خاک پس از اجرای برنامه تغذیه مجدداً اندازه‌گیری نشدند، سازوکارهای یادشده صرفاً به عنوان توضیحات احتمالی مطرح می‌شوند و در پژوهش حاضر مستقیماً تأیید نشده‌اند.

در باغ‌های هلو نیز تفاوت قابل توجهی در شدت عدم تعادل تغذیه‌ای مشاهده شد. مقدار شاخص CND-r² در زیرگروه‌های کم‌عملکرد از ۲۱۱ در باغ هلو ۳ تا ۱۶۷۴ در باغ هلو ۲ متغیر بود که نشان‌دهنده شدت بیشتر عدم تعادل عناصر غذایی در باغ هلو ۲ است. مقدار بسیار بزرگ شاخص کلی عدم تعادل در باغ هلو ۲ نشان‌دهنده انحراف زیاد ترکیب تغذیه‌ای زیرگروه کم‌عملکرد از مقادیر مرجع محلی بود. با توجه به استاندارد شدن شاخص هر عنصر بر اساس انحراف معیار زیرگروه پرعملکرد، بزرگی این شاخص می‌تواند علاوه بر شدت انحراف تغذیه‌ای، تحت تأثیر پراکندگی اندک برخی نسبت‌های لگاریتمی در جامعه مرجع محلی نیز قرار گرفته باشد؛ از این رو، مقایسه مقدار مطلق شاخص میان باغ‌ها باید با احتیاط انجام شود. در باغ هلو ۱، کلسیم منفی‌ترین و نیتروژن بیشترین شاخص Ix را داشت. در باغ هلو ۲، منیزیم دارای منفی‌ترین شاخص بود، در حالی که مس بیشترین شاخص را نشان داد. در باغ هلو ۳ نیز پتاسیم منفی‌ترین و نیتروژن بیشترین شاخص Ix را داشت. شاخص‌های منفی بیانگر ناکفایتی نسبی و شاخص‌های مثبت نشان‌دهنده فزونی نسبی عناصر در مقایسه با مقادیر مرجع محلی همان باغ هستند. بنابراین، کلسیم، منیزیم و پتاسیم به ترتیب در باغ‌های هلو ۱، ۲ و ۳ به عنوان عناصر بالقوه محدودکننده عملکرد شناسایی شدند.

عدم تعادل کلسیم در باغ هلو ۱ ممکن است علاوه بر غلظت این عنصر، با تحرک محدود آن در گیاه و رقابت یونی با سایر کاتیون‌ها ارتباط داشته باشد. منفی بودن شاخص Ix برای منیزیم در باغ هلو ۲ نیز می‌تواند نشان‌دهنده عدم تناسب نسبی منیزیم با سایر عناصر، به ویژه پتاسیم و کلسیم باشد. در باغ هلو ۳، منفی بودن شاخص Ix برای پتاسیم با نقش این عنصر در تنظیم روابط آبی، انتقال مواد فتوسنتزی و رشد میوه اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. با این حال، وجود شانکر باکتریایی در باغ‌های هلو ۱ و ۳ و خسارت سرما در باغ هلو ۲ نشان می‌دهد که عملکرد پایین این باغ‌ها حاصل برهم‌کنش عوامل تغذیه‌ای و غیرتغذیه‌ای بوده است.

تفاوت عناصر دارای منفی‌ترین شاخص در باغ‌های مختلف، اهمیت تشخیص اختصاصی وضعیت تغذیه‌ای هر باغ را نشان می‌دهد. بصیرت و همکاران (۱۳۹۵)، اعداد مرجع ۱۱ عنصر غذایی را برای انگور شاهرود با استفاده از روش CND به دست آوردند و کلسیم و

نیتروژن را به عنوان محدود کننده‌ترین عناصر غذایی در تاکستان‌های با عملکرد کم گزارش کردند. چاکرال‌حسینی و همکاران (۱۳۹۵)، اعداد مرجع، دامنه مطلوب و محدودیت عناصر غذایی در باغ‌های پرتقال کهگیلویه و بویراحمد را با استفاده از روش CND تعیین کردند. آن‌ها گزارش کردند که قرار گرفتن ۵۷ درصد باغ‌ها در گروه با عملکرد کمتر از حد متوسط به دلیل عدم تعادل عناصر غذایی بود. حسینی و همکاران (۱۳۹۹) با ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای باغ‌های لیموترش در هرمزگان نشان دادند که با استفاده از سامانه CND به خوبی می‌توان تعادل تغذیه‌ای را در این باغ‌ها تشخیص داد. آن‌ها دریافتند که کمبود عناصر نیتروژن، پتاسیم و منگنز، عمده‌ترین عامل محدودکننده تولید لیموترش در باغ‌های هرمزگان بود. زندی و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از روش CND، ترتیب نیاز غذایی درختان سیب در کرمانشاه را در شرایط کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی به صورت $Zn < Cu < Mn < K < N < Mg < P < Fe < Ca$ بیان کردند. مطلبی فرد (۱۴۰۱) با استفاده از روش CND، ترتیب نیاز غذایی باغ‌های انگور بی‌دانه همدان با عملکرد کمتر از حد بحرانی (۳۸ تن در هکتار) را به صورت $K > Mn > Fe > N > Mg = Zn > Cu > Ca > B > P$ گزارش کرد. گندمکار و همکاران (۱۴۰۲)، اعداد مرجع را به روش CND برای ۱۰ عنصر غذایی در باغ‌های به اصفهان به دست آوردند. آن‌ها با معرفی عملکرد ۲۳ تن در هکتار به عنوان عملکرد بحرانی، ۲۵ درصد باغ‌ها را در گروه با عملکرد زیاد و ۷۵ درصد را در گروه با عملکرد کم قرار دادند. پتاسیم و نیتروژن بین عناصر پرمصرف و آهن و روی بین عناصر کم مصرف دارای منفی‌ترین شاخص‌های I_x بودند و بیشترین اولویت غذایی، متعلق به آن‌ها بود. شاخص $CND-r^2$ در باغ‌های با عملکرد کم (۲۰/۸۵)، بسیار بزرگتر از صفر و بیانگر عدم تعادل تغذیه‌ای در آن‌ها بود. روش CND در پژوهشی دیگر نشان داد که آهن و فسفر محدودکننده‌ترین مواد مغذی در برگ‌ها و میوه‌های هلو و شلیل در جامعه کم‌محصول بودند (Abbasi-Karvaneh et al., 2024). تفاوت نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که ترتیب عناصر بالقوه محدودکننده تابع شرایط خاک، اقلیم، گونه و رقم، مدیریت باغ و ترکیب نسبی عناصر غذایی است و نمی‌توان یک ترتیب ثابت را برای تمام باغ‌ها در نظر گرفت.

روش CND امکان ارزیابی وضعیت نسبی هر عنصر غذایی را در ارتباط با مجموعه عناصر اندازه‌گیری‌شده فراهم می‌کند و برخلاف تفسیر جداگانه غلظت عناصر، اثر تعادل و برهم‌کنش نسبی آن‌ها را نیز در نظر می‌گیرد. در این روش، گروه‌های با عملکرد زیاد و کم بر اساس عملکرد واقعی واحدهای مورد مطالعه تفکیک می‌شوند و ترکیب تغذیه‌ای زیرگروه با عملکرد زیاد به عنوان مبنای مقایسه محلی برای محاسبه شاخص‌های عناصر غذایی به کار می‌رود. از مهم‌ترین ویژگی‌های این روش می‌توان به محاسبه وضعیت هر عنصر نسبت به میانگین هندسی ترکیب عناصر، در نظر گرفتن هم‌زمان روابط میان عناصر و امکان رتبه‌بندی عدم تعادل‌های تغذیه‌ای اشاره کرد. شاخص‌های حاصل می‌توانند در کنار نتایج آزمون خاک، آنالیز برگ و اطلاعات مدیریتی باغ، برای شناسایی عناصر دارای بیشترین عدم تعادل نسبی و تعیین اولویت بررسی‌های تغذیه‌ای تکمیلی مورد استفاده قرار گیرند (Khiari et al., 2001). با این حال، قابلیت تعمیم مقادیر مرجع و استفاده از آن‌ها برای توصیه کودی، به اندازه و نمایندگی جامعه مرجع و اعتبارسنجی نتایج در شرایط مستقل وابسته است. با وجود این، باید توجه داشت که محاسبات CND در هر باغ بر پایه شش واحد آزمایشی مرکب انجام شد. از این‌رو، میانگین‌ها و انحراف معیارهای زیرگروه عملکرد و شاخص‌های حاصل ممکن است به ترکیب تعداد محدودی از واحدهای مشاهده حساس باشند. هدف از این تحلیل، تدوین هنجارهای عمومی و قابل تعمیم برای باغ‌های سیب و هلو نبود، بلکه ارزیابی درون‌باغی تعادل عناصر غذایی و شناسایی عناصر دارای بیشترین عدم تعادل منفی در زیرگروه کم‌عملکرد، با تأکید بر ارزیابی وضعیت درختان شاهد، بود. بنابراین، مقادیر ارائه‌شده به شرایط همان باغ‌ها محدود هستند و استفاده از آن‌ها برای توصیه کودی عمومی یا منطقه‌ای نیازمند احتیاط است. تدوین هنجارهای قابل تعمیم CND و تأیید قطعی عناصر محدودکننده مستلزم بررسی تعداد بیشتری باغ در چند سال، تشکیل جامعه مرجع عملکرد بزرگ‌تر و اجرای آزمایش‌های اختصاصی مصرف یا حذف عناصر غذایی است.

همچنین، یکی از محدودیت‌های این پژوهش آن است که برنامه تغذیه به‌صورت تلفیقی و شامل چند نهاد و روش کاربرد مختلف اجرا شد. از این‌رو، نتایج به‌دست‌آمده باید به عنوان پاسخ درختان به کل بسته مدیریت تغذیه تلفیقی تفسیر شوند و نمی‌توان سهم مستقل هر یک از کودهای آلی، شیمیایی، زیستی، چالکود، کودآبیاری یا محلول‌پاشی را به‌طور جداگانه تعیین کرد. بررسی تفکیکی اثر هر یک از این اجزا نیازمند طراحی آزمایش فاکتوریل یا آزمایش‌های جداگانه در مطالعات آینده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

اجرای دوساله برنامه مدیریت تغذیه تلفیقی، متشکل از کاربرد هدفمند منابع آلی، شیمیایی و زیستی از طریق چالکود، کودآبیاری و محلول‌پاشی، موجب بهبود معنی‌دار وضعیت تغذیه‌ای و افزایش عملکرد در هر شش باغ سیب و هلو شد. افزایش غلظت بیشتر عناصر



پرمصرف و کم‌مصرف در برگ و میوه نشان داد که اثر برنامه تغذیه تنها به برگ محدود نبود و در ترکیب معدنی میوه نیز منعکس شد. میانگین عملکرد درختان تیمار شده در همه باغ‌ها بیشتر از شاهد بود و بر اساس روش کیت-نلسون، عملکرد بحرانی در باغ‌های سیب بین ۹۸ تا ۱۰۹ و در باغ‌های هلو بین ۲۰ تا ۵۱ کیلوگرم در درخت تعیین شد. با این حال، این مقادیر مرجع ماهیت محلی دارند و به دلیل تفاوت باغ‌ها از نظر سن و رقم درخت، ویژگی‌های خاک، سابقه مدیریت و تنش‌های زیستی و اقلیمی، نباید به عنوان حدود عمومی برای سایر باغ‌ها تلقی شوند.

تحلیل CND نشان داد که نوع و شدت عدم تعادل تغذیه‌ای در باغ‌های مختلف یکسان نبود. روی، کلسیم و فسفر به ترتیب در باغ‌های سیب ۱، ۲ و ۳ و کلسیم، منیزیم و پتاسیم به ترتیب در باغ‌های هلو ۱، ۲ و ۳ منفی‌ترین شاخص‌های تغذیه‌ای را داشتند و به عنوان عناصر بالقوه محدودکننده عملکرد شناسایی شدند. تفاوت عناصر دارای بیشترین شاخص منفی، ضرورت جایگزینی توصیه‌های کودی ثابت و عمومی با مدیریت تغذیه اختصاصی هر باغ را نشان می‌دهد. بر این اساس، تلفیق آزمون خاک، تجزیه برگ و میوه، اطلاعات عملکرد و شاخص‌های تعادل تغذیه‌ای مانند CND می‌تواند چارچوب تشخیصی مناسب‌تری برای تعیین اولویت‌های تغذیه‌ای و اصلاح عدم تعادل عناصر در باغ‌های میوه فراهم کند. با وجود این، شاخص منفی CND به تنهایی اثبات‌کننده رابطه قطعی میان کمبود یک عنصر و کاهش عملکرد نیست و باید به عنوان ابزار غربالگری و تعیین اولویت برای بررسی‌های تکمیلی تفسیر شود.

در سطح اجرایی پیشنهاد می‌شود برنامه کوددهی باغ‌های سیب و هلو بر اساس پایش دوره‌ای خاک و برگ، وضعیت عملکرد، شرایط رطوبتی خاک و سابقه مدیریتی هر باغ تدوین و سالانه بازنگری شود. در باغ‌های بررسی شده، عناصر دارای منفی‌ترین شاخص CND باید در اولویت آزمایش‌های اختصاصی قرار گیرند، اما افزایش مصرف آن‌ها تنها پس از تأیید کمبود از طریق آزمون خاک و برگ و اجرای تیمارهای کنترل شده انجام شود؛ زیرا مصرف مستقیم و بدون ارزیابی می‌تواند تعادل سایر عناصر را مختل کند. همچنین، برای تأیید نقش واقعی روی، کلسیم و فسفر در باغ‌های سیب و کلسیم، منیزیم و پتاسیم در باغ‌های هلو، اجرای آزمایش‌های افزودن و حذف عنصر، به صورت تک‌عاملی یا فاکتوریل و طی چند فصل رشد ضروری است.

برای توسعه هنجارهای منطقه‌ای و قابل تعمیم CND، پیشنهاد می‌شود تعداد بیشتری باغ با دامنه متنوعی از عملکرد، رقم، سن درخت، ویژگی‌های خاک و شرایط مدیریتی بررسی و جامعه مرجع عملکرد بزرگ‌تری تشکیل شود. اندازه‌گیری مجدد ویژگی‌های خاک و ریزوسفر پس از اجرای برنامه، شامل pH، ماده آلی، عناصر قابل جذب و فعالیت‌های زیستی خاک، می‌تواند سازوکارهای مؤثر بر افزایش جذب عناصر را روشن‌تر کند. همچنین، در پژوهش‌های آینده لازم است سهم مستقل کودهای آلی، شیمیایی، زیستی، محرک‌های رشد و روش‌های مختلف کاربرد تفکیک و افزون بر عملکرد و غلظت عناصر، شاخص‌های کیفیت میوه، قابلیت انبارداری، کارایی مصرف کود، هزینه-فایده اقتصادی و پیامدهای زیست‌محیطی نیز ارزیابی شوند.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

حمایت مالی از این پژوهش از طرف سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه در قالب قرارداد پژوهشی با اساتید راهنما (نویسندگان دوم و سوم) انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در مقاله مستخرج از پایان‌نامه تقریباً به شکل زیر باشد:

نویسنده اول: دانشجو، تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش‌ها و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها
نویسنده دوم: استاد راهنمای اول پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، تحلیل و تفسیر نتایج، نوشتن مقاله

نویسنده سوم: استاد راهنمای دوم پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش
نویسنده چهارم: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش

نویسندگان از هیچ نوع فناوری مبنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش استفاده نکرده‌اند.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

منابع

- ارزانش، محمدحسین؛ بنی‌عقیل، نوریه؛ قربانلی، مهلقا و شهبازی، مریم (۱۳۹۱). تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر پارامترهای رشدی و غلظت عناصر کم‌مصرف در دو رقم کلاز تحت تنش شوری. مدیریت خاک و تولید پایدار، ۲ (۲)، ۱۶۳-۱۵۳.
- بصیرت، مجید؛ اخبانی، احمد و دریاشناس، عبدالمحمد (۱۳۹۵). برآورد اعداد مرجع عناصر غذایی برای انگور رقم شاهرودی به روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی یا (CND). پژوهش‌های خاک، ۳۰ (۱)، ۱-۱۱.
- چاکرالاحسینی، محمدرضا؛ خراسانی، رضا؛ فتوت، امیر و بصیرت، مجید (۱۳۹۵). تعیین اعداد مرجع و محدودیت عناصر غذایی برای پرتقال با استفاده از روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی. مدیریت خاک و تولید پایدار، ۶ (۳)، ۱۷۲-۱۶۱.
- حسن‌زاده نارنج‌بنی، فاطمه؛ ابراهیمی گسکرئی، رضا؛ مرادی، بیژن و رئیسی، طاهره (۱۳۹۷). تأثیر نوع و منبع کود مصرفی بر توزیع عناصر غذایی در برگ و میوه کیوی. آب و خاک، ۳۲ (۱)، ۷۲-۵۹.
- حسینی، یعقوب؛ صالح، جهان‌شاه و چاکرالاحسینی، محمدرضا (۱۳۹۹). ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای باغ‌های لیموترش در هرمزگان با روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی. تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی، ۱۰ (۲)، ۹۲-۸۱.
- زند، سمیه؛ فاطمی، اکرم؛ سعیدی، محسن و حامدی، فردین (۱۴۰۰). بررسی اثر مدیریت‌های مختلف کودی بر وضعیت تغذیه‌ای سیب با روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی. مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۱ (۲)، ۱۰۷-۹۱.
- شهابی‌فر، جعفر (۱۳۹۹). اثر کاربرد فسفر بر منابع کودهای آلی و شیمیایی بر فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی در منطقه قزوین. زیست‌شناسی خاک، ۸ (۲)، ۱۵۴-۱۴۳.
- صالحی، افسانه؛ نکونام، فاطمه و رضوی، فرهنگ (۱۴۰۴). بررسی تأثیر برخی از کودهای زیستی بر خصوصیات رشدی، محتوای عناصر غذایی برگ و عملکرد میوه سیب (*Malus domestica* cv. Red Delicious). علوم باغبانی، ۳۹ (۴)، ۵۸۲-۵۶۷.
- گندمکار، اکبر؛ خان محمدی، زهرا و بصیرت، مجید (۱۴۰۲). ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای باغات به (*Cydonia oblonga* Mill.) با استفاده از روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND) در استان اصفهان. آب و خاک، ۳۷ (۲)، ۲۹۳-۲۸۱.
- مجیدی، عزیز و ملکوتی، محمدجعفر (۱۳۹۵). تأثیر مقادیر و منابع گوگرد بر رشد و برخی خواص کیفی میوه سیب رقم زرد. مدیریت خاک و تولید پایدار، ۶ (۲)، ۴۴-۲۵.
- مطلبی فرد، رحیم (۱۴۰۱). ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای باغات انگور استان همدان با استفاده از روش تشخیص چندگانه (CND). آب و خاک، ۳۶ (۳)، ۳۶۵-۳۷۵.
- ملکوتی، محمدجعفر؛ مشیری، فرهاد؛ غیبی، محمدنبی و مولوی، صفدر (۱۳۸۴). حد مطلوب غلظت عناصر در خاک و برخی از محصولات زراعی و باغی. نشریه فنی شماره ۴۰۶، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی.

REFERENCES

- Abbasi-Karvaneh, Z., Ranjbar, F., Beheshti-Alagha, A., Sharifi, R., & Chaghazardi, H. R. (2024). Improvement of iron chlorosis and nutrient balance in peach and nectarine trees under the integrated fertilization management using DOP, DRIS, and CND methods. *Scientia Horticulturae*, 338, 113697.
- Al-Saif, A. M., Sas-Paszt, L., Saad, R. M., & Mosa, W. F. A. (2024). Amino acids as safe biostimulants to improve the vegetative growth, yield, and fruit quality of peach. *BioResources*, 19 (3), 5978–5993. DOI: 10.15376/biores.19.3.5978-5993.
- Alzate Zuluaga, M. Y., Fattorini, R., Cesco, S., & Pii, Y. (2024). Plant-microbe interactions in the rhizosphere



- for smarter and more sustainable crop fertilization: The case of PGPR-based biofertilizers. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1440978.
- Amanullah, Ondrasek, G., & Al-Tawaha, A. R. (2023). Integrated nutrient management: An approach for sustainable crop production and food security in changing climates. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1288030.
- Arzanesh, M. H., Benny Aghil, N., Ghorbanli, M. L., & Shahbazi, M. (2012). Effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth parameters and levels of micronutrient on rapeseed cultivars under salinity stress. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 2 (2), 153–163. (In Persian)
- Baethgen, W. E., & Alley, M. M. (1989). A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldahl digests. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 20, 961–969.
- Basirat, M., Akhyani, A., & Daryashenas, M. (2016). Estimating sufficiency norms in compositional nutrient diagnosis (CND) method for Shahroudi table grape. *Journal of Soil Research*, 30 (1), 1–11. (In Persian)
- Boiero, L., Perrig, D., Masciarelli, O., Pena, C., Cassán, F., & Luna, V. (2007). Phytohormone production by strains of *Bradyrhizobium japonicum* and possible physiological and technological implications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 74 (4), 874–880.
- Boutahiri, S., Benrkia, R., Tembeni, B., Idowu, O. E., & Olatunji, O. J. (2024). Effect of biostimulants on the chemical profile of food crops under normal and abiotic stress conditions. *Current Plant Biology*, 40, 100410.
- Brunetto, G., Melo, G. W. B. D., Toselli, M., Quartieri, M., & Tagliavini, M. (2015). The role of mineral nutrition on yields and fruit quality in grapevine, pear and apple. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 37, 1089–1104.
- Chakerolhosseini, M. R., Khorassani, R., Fotovat, A., & Basirat, M. (2016). Determination of norms and limitation of nutrients for orange by the compositional nutrient diagnosis method. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 6 (3), 161–172. (In Persian)
- Duarte, B., Carreiras, J. A., Melo, J., Gonçalves, M., Silva, A. B., & Leão de Sousa, M. (2024). Impact of mineral and organic fertilisation practices on elemental authenticity signature on apple Royal Gala from protected geographical indication (PGI) “Maça de Alcobaça”. *Journal of Food Composition and Analysis*, 132, 106308.
- Fallahi, E., Fallahi, B., & Seyedbagheri, M. M. (2006). Influence of humic substances and nitrogen on yield, fruit quality, and leaf mineral elements of ‘Early Spur Rome’ apple. *Journal of Plant Nutrition*, 29 (10), 1819–1833.
- Ferreira, S., Lopes, C., Gonçalves, M., Rodrigues, M., Martinho, F., & Leão de Sousa, M. (2025). Multiyear assessment of biofertilizer application on ‘Gala’ apple orchards: Impacts on soil fertility, leaf mineral content, and agronomic performance. *Plants*, 14 (21), 3319. DOI: 10.3390/plants14213319.
- Gandonkar, A., Khanmohammadi, Z., & Basirat, M. (2023). Evaluation of nutritional status of quince trees (*Cydonia oblonga* Mill.) by compositional nutrient diagnosis method (CND) in Isfahan province. *Journal of Water and Soil*, 37 (2), 281–293. (In Persian)
- Grobelak, A., Napora, A., & Kacprzak, M. (2015). Using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to improve plant growth. *Ecological Engineering*, 84, 22–28.
- Hasanzadeh Naranjboni, F., Ebrahimi, R., Moradi, B., & Raiesi, T. (2018). Effect of fertilizer type and its source on nutrients distribution in Kiwifruit leaves and fruit. *Journal of Water and Soil*, 32 (1), 59–72. (In Persian)
- Havlin, J., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). *Soil Fertility and fertilizers: An introduction to Nutrient Management*. 8th Edition, Pearson Inc., Upper Saddle River, New Jersey, p. 516.
- Henry, S., Texier, S., Hallet, S., Bru, D., Dambreville, C., Chèneby, D., Bizouard, F., Germon, J. C., & Philippot, L. (2008). Disentangling the rhizosphere effect on nitrate reducers and denitrifiers, insight into the role of root exudates. *Environmental Microbiology*, 10 (11), 3082–3092.
- Hosseini, Y., Saleh, J., & Chakerolhosseini, M. R. (2020). Evaluation of nutritional status of lime orchards in Hormozgan province of Iran using compositional nutrient diagnosis method. *Journal of Crop Production and Processing*, 10 (2), 81–92. (In Persian)
- Jones, J. B. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press, p. 384.
- Khakpour, S., Seyed Hajizadeh, H., Hemati, A., Bayanati, M., Nobaharan, K., Mofidi Chelan, E., Asgari Lajayer, B., & Dell, B. (2022). The effect of pre-harvest treatment of calcium nitrate and iron chelate on post-harvest quality of apple (*Malus domestica* Borkh. cv. Red Delicious). *Scientia Horticulturae*, 304, 111351.
- Khayyat, M., Vazifeshenas, M. R., Rajaei, S., & Jamalian, S. (2007). Potassium effect on ion leakage, water

- usage, fruit yield and biomass production by strawberry plants grown under NaCl stress. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 17, 79–88.
- Khiari, L., Parent, L. E., & Tremblay, N. (2001). Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. *Agronomy Journal*, 93 (3), 802–808.
- Kowalczyk, W., Wrona, D., & Przybyłko, S. (2022). Effect of nitrogen fertilization of apple orchard on soil mineral nitrogen content, yielding of the apple trees and nutritional status of leaves and fruits. *Agriculture*, 12 (12), 2169.
- Lisboa, B. B., Abichequer, A. D., de São José, J. F. B., Moura-Bueno, J. M., Brunetto, G., & Vargas, L. K. (2024). Compositional nutrient diagnosis methodology and its effectiveness to identify nutrient levels in yerba mate (*Ilex paraguariensis*). *Agriculture*, 14(6), 896.
- Mahmud, T. S.H. M., Shaaban, F. K. M., Morsey, M. M., & El-Nagger, M. Y. I. (2016). Study on the effect of preharvest treatments by seaweed extract and amino acids on anna apple growth, leaf mineral content, yield, fruit quality at harvest and storability. *International Journal of ChemTech Research*, 9 (5), 161–171.
- Majidi, A., & Malakouti, M. J. (2016). Effect of sulfur rates and sources on growth and fruit quality of apple var. Golden Delicious. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 6 (2), 25–44. (In Persian)
- Malakouti, M. J., Moshiri, F., Ghaibi, M. N., & Molavi, S. (2005). Optimum levels of some nutrients in soils and some agronomic and horticultural crops (Part 2: Horticultural crops). Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Ministry of Agriculture, Publication No. 406. (In Persian).
- Milošević, T., Milošević, N., & Mladenović, J. (2022). The influence of organic, organo-mineral and mineral fertilizers on tree growth, yielding, fruit quality and leaf nutrient composition of apple cv. 'Golden Delicious Reinders'. *Scientia Horticulturae*, 297, 110978.
- Montañés, L., Heras, L., Abadía, J., & Sanz, M. (1993). Plant analysis interpretation based on a new index: deviation from optimum percentage (DOP). *Journal of Plant Nutrition*, 16, 1289–1308.
- Motalebifard, R. (2022). Evaluation of nutritional status of Hamedan province grape fields by compositional nutrient diagnosis method. *Journal of Water and Soil*, 36 (3), 365–375. (In Persian)
- Mousavi, S. M., Jafari, A., & Shirmardi, M. (2024). The effect of seaweed foliar application on yield and quality of apple cv. 'Golden Delicious'. *Scientia Horticulturae*, 323, 112529. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.112529.
- Mughunth, R. J., Velmurugan, S., Mohanalakshmi, M., & Vanitha, K. (2024). A review of seaweed extract's potential as a biostimulant to enhance growth and mitigate stress in horticulture crops. *Scientia Horticulturae*, 334, 113312.
- Rowell, D. L. (1994). *Soil science: Methods and applications*. Routledge, London, p. 368.
- Salehi, A., Nekounam, F., & Razavi, F. (2025). Study the Effect of some Biofertilizers on Growth, Leaf Nutrient Contents and Yield Properties of Apple (*Malus domestica* cv. Red delicious). *Journal of Horticultural Science*, 39 (4), 567-582. (In Persian)
- Shahabifar, J. (2020). Effect of chemical and organic fertilizers on acid and alkaline phosphatase activities in the Qazvin region. *Journal of Soil Biology*, 8 (2), 143–154. (In Persian)
- Sidhu, R. S., Hunt, I., Bound, S. A., & Swarts, N. D. (2024). Crop load, fruit quality and mineral nutrition as predictors of fruit softening and internal flesh browning in modern firm-fleshed apple cultivars. *Scientia Horticulturae*, 330, 113035.
- Sorrenti, G., Toselli, M., & Marangoni, B. (2012). Use of compost to manage Fe nutrition of pear trees grown in calcareous soils. *Scientia Horticulturae*, 135, 87–94.
- Tóth, F. A., Magyar, T., Tamás, J., & Nagy, P. T. (2024). Improving the nutrient management of an apple orchard by using organic-based composites derived from agricultural waste. *Horticulturae*, 10 (2), 172. DOI: 10.3390/horticulturae10020172.
- Ullah, I., Jilani, G., Ul-Haq, M. I., & Khan, A. (2013). Enhancing bio-available phosphorous in soil through sulfur oxidation by *Thiobacilli*. *British Microbiological Research Journal*, 3, 378–392.
- Vyas, P., & Gulati, A. (2009). Organic acid production in vitro and plant growth promotion in maize under controlled environment by phosphate-solubilizing fluorescent *Pseudomonas*. *BMC Microbiology*, 9 (1), 174–183.
- Walworth, J. L., & Sumner, M. E. (1987). The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). In B. A. Stewart, (Ed.), *Advances in Soil Science* (pp. 149–187), vol. 6. New York: Springer.
- Wood, R. M., de Freitas, S. T., Argenta, L. C., & Neuwald, D. A. (2024). Influence of pre-harvest calcium



- application on the concentration and distribution of ascorbic acid and mineral content in apple cultivars at harvest and during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 214, 112979.
- Yamane, T. (2014). Review-Foliar calcium applications for controlling fruit disorders and storage life in deciduous fruit trees. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 48, 123–126.
- Yang, M. M., Mavrodi, D. V., Mavrodi, O. V., Bonsall, R. F., Parejko, J. A., Paulitz, T. C., Thomashow, L. S., Yang, H. T., Weller, D. M., & Guo J. H. (2011). Biological control of take-all by *fluorescent Pseudomonas spp.* from Chinese wheat fields. *Phytopathology*, 101 (14), 81–91.
- Yildiz, E., Yaman, M., Ercisli, S., Sumbul, A., Sonmez, O., Gunes, A., Bozhuyuk, M. R., & Kviklys, D. (2022). Effects of rhizobacteria application on leaf and fruit nutrient content of different apple scion–rootstock combinations. *Horticulturae*, 8 (6), 550.
- Zandi, S., Fatemi, A., Saiedi, M., & Hamed, F. (2021). Investigation of different fertilizer management effect on nutritional status of apple by compositional nutrient diagnosis. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 11 (2), 91–107. (In Persian)
- Zhuang, L., Wang, P., Hu, W., Yang, R., Zhang, Q., Jian, Y., & Zou, Y. (2024). A comprehensive study on the impact of chemical fertilizer reduction and organic manure application on soil fertility and apple orchard productivity. *Agronomy*, 14 (7), 1398. DOI: 10.3390/agronomy14071398.