نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد یازدهم، شماره دوم، ۱۴۰۰
۹۱-۱۰۷
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2021.18030.1951
(مقاله کامل علمی- پژوهشی)

بررسی اثر مدیریت‌های مختلف کودی بر وضعیت تغذیه‌ای سیب با روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی

سمیه زندی[۱]، اکرم فاطمی*[۲]، محسن سعیدی[۳] و فردین حامدی[۴]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه رازی، [۲]استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه رازی،
[۳]دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، [۴]هیأت علمی مرکز تحقیقات کرمانشاه

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶

چکیده

سابقه و هدف: سیب بزرگ‌ترین تجارت جهانی را در بین میوه‌های باغی داراست. براساس اطلاعات سازمان خواروبار کشاورزی جهانی در سال ۲۰۱۷، ایران جزو سه کشور اصلی تولیدکننده سیب در جهان است. تغذیه یکی از عوامل مهمی است که در کیفیت و کمیت میوه اثر می‌گذارد. این پژوهش به منظور بررسی و مقایسه مدیریت‌های کودی مختلف بر وضعیت تغذیه‌ای درختان سیب در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در دانشگاه رازی شهر کرمانشاه (۳٤ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و ٤۷ درجه و ۷ دقیقه شرقی) انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به صورت آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در باغ سیب چهار ساله متراکم با رقم گالا بر پایه M_9 انجام شد. مدیریت‌ها شامل مدیریت معدنی، آلی و تلفیقی بود. مدیریت معدنی کاربرد خاکی ٦۵ گرم اوره و ۳۸ گرم سوپرفسفات تریپل، ٦۰ گرم کلرید پتاسیم به ازای هر درخت همراه با محلول‌پاشی آهن، روی و کلسیم بود. در مدیریت آلی از کودهای آلی (۵ کیلوگرم کمپوست، ۰/۵ کیلوگرم کود دامی (گاوی) پوسیده و ۵ کیلوگرم بایوچار به‌ازای هر درخت) استفاده شد. مدیریت تلفیقی شامل کود شیمیایی + بایوچار، کود شیمیایی + کمپوست، کود شیمیایی + کود دامی و کمپوست + بایوچار بود. با استفاده از روش تشخیص چندگانه (CND) وضعیت تعادل عناصر غذایی برگ سیب بررسی شد.

یافته‌ها: ضریب تبیین مدل معادله درجه سه برای همه عناصر در دامنه ۰/۸۹-۰/۷۹ بود. نقاط عطف منحنی‌ها (-b/3a) برای نیتروژن ۷/۹۸، فسفر ۷/٦٤، پتاسیم ۷/۱۲، کلسیم ۷/۸۲، منیزیم ۸/۰ آهن ۷/۸۷، روی ۷/۹۸، مس ۷/۷۹، منگنز ۷/٤۱ و قسمت باقیمانده (R_9) ۸/۱۱ کیلوگرم به‌دست آمد. به طور کلی، میانگین عملکرد میوه برای عناصر بسیار به هم نزدیک هستند و در دامنه ۷/۱۲ تا ۸/۱۱ (میانگین ۰/۳۱±۷/۷۷) کیلوگرم میوه در هر درخت به ترتیب مربوط به پتاسیم و قسمت باقیمانده بودند. براساس روش تجزیه واریانس کیت-نلسون، عملکرد میوه ۸/۷۵ کیلوگرم در هر درخت به عنوان عملکرد میوه بحرانی برای تفکیک دو گروه با عملکرد میوه کم و زیاد انتخاب شد. در گروه با عملکرد میوه کم تیمارهای شاهد، کود دامی و کمپوست و در گروه با عملکرد میوه زیاد تیمارهای تلفیقی، کود شیمیایی و بایوچار قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در گروه با عملکرد میوه زیاد میانگین اعداد مرجع برای نیتروژن،

* مسئول مکاتبه: a.fatemi@razi.ac.ir

پتاسیم، کلسیم و منیزیم برگ مثبت و برای فسفر، آهن، روی، مس و منگنز برگ منفی بودند. شاخص تعادل عناصر غذایی عدم تعادل عناصر غذایی در مدیریت‌های کودی مختلف را نشان داد. با کاربرد کودهای مختلف تغییر شاخص‌های عناصر غذایی از منفی‌ترین به مثبت‌ترین به ترتیب زیر بود: شاخص آهن در مدیریت معدنی، شاخص کلسیم در مدیریت آلی، شاخص‌های نیتروژن و فسفر در مدیریت تلفیقی (در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی به‌تنهایی). در تیمارهای تلفیقی مقادیر شاخص‌های کلسیم، منیزیم و آهن به ترتیب از ۰/۱۷-، ۰/۴۲- و ۱/۲۴- در تیمار شاهد به ۰/۱۵، ۰/۰۷ و ۰/۱۵ افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: در برنامه‌های آتی کوددهی باغ مورد مطالعه کمبود عنصرهای غذایی کم‌مصرف در مدیریت‌های کودی مختلف باید در نظر گرفته شود. در بین عنصرهای غذایی پرمصرف کمبود کلسیم، فسفر، منیزیم و پتاسیم در مدیریت معدنی و در مدیریت‌های آلی و تلفیقی کمبود پتاسیم از عوامل محدودکننده تولید بیش‌تر سیب بود. بر اساس عملکرد میوه، کاربرد کود شیمیایی یا بایوچار به تنهایی در اولویت قرار گرفت. سپس مدیریت تلفیقی شامل کود شیمیایی + بایوچار و کود شیمیایی + کود دامی و در نهایت کود شیمیایی + کمپوست، بسته به در دسترس بودن منابع نامبرده توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بایوچار، کمپوست، کود دامی، کود شیمیایی، گالا

مقدمه

سیب با نام علمی *Malus × domestica Borkh* متعلق به خانواده *Rosaceae*، راسته *Pireae* و محصول اصلی میوه مناطق معتدل جهان است که بزرگ‌ترین تجارت جهانی را در بین میوه‌های باغی داراست (۲۶). براساس اطلاعات سازمان خواروبار کشاورزی جهانی در سال ۲۰۱۷، ایران جزو سه کشور اصلی تولیدکننده سیب در جهان است. هم‌چنین، بر اساس این گزارش متوسط عملکرد باغ‌های سیب در کشور کمی بیش از ۱۷۵۴۱۹ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (۴). در پرورش درختان سیب، مسائلی هم‌چون تلقیح، تغذیه، آبیاری و تعادل نسبت برگ به میوه یا تراکم در واحد درخت در کیفیت و کمیت محصول اثر می‌گذارد و نقصان یا اختلال در هر کدام به نوعی تولیدکننده را از هدف اصلی دور می‌سازد (۱۶). غلظت هر نوع ماده غذایی در گیاه به طور عمده به در دسترس بودن در خاک و میزان جذب آن بستگی دارد و هم‌چنین به میزان قابل‌توجهی وابسته به نوع و مرحله رشد گیاه است (۲۶). یکی از عوامل مهم در تشکیل میوه، تغذیه درخت است. عناصر غذایی فراهم شده از منابع کودی آلی و معدنی به‌طور مستقیم و غیر مستقیم در این فرآیند نقش دارند (۱۷) استفاده از کودهای شیمیایی ظاهراً سریع‌ترین و مطمئن‌ترین راه برای تأمین حاصلخیزی خاک به شمار می‌رود. اما هزینه‌های زیاد مصرف این کودها، آلودگی و تخریب محیط زیست و خاک نگران‌کننده است. استفاده از کودهای آلی از مصرف کودهای شیمیایی می‌کاهد و با افزایش تولید محصولات زراعی و باغی نیازهای جهانی و تقاضای روزافزون غذا را برطرف کرده در عین حال کیفیت آن‌ها را نیز بهبود می‌بخشد. به عبارت دیگر، کاربرد کودهای آلی دستیابی به کشاورزی پایدار را هموار می‌کند (۲۱). بنابراین هدف از تولید میوه‌های آلی به حداقل رساندن استفاده از کودهای شیمیایی است (۵). مدیریت‌های اعمال شده

در سطح باغ موجب تغییراتی می‌شود. به‌گونه‌ای که پاسخ‌های پیش‌بینی شده گیاه براساس غلظت‌های بحرانی از پیش تعیین شده را تغییر می‌دهد و در بسیاری موارد پاسخ‌های گیاهی همبستگی مناسبی با غلظت‌های از پیش ارائه شده، نشان نمی‌دهد. برای بهینه‌سازی غلظت‌های بحرانی معرفی شده بهتر است هر گونه یا رقم را در شرایط منطقه خود مورد ارزیابی قرار داد. در این صورت در شرایط موجود پاسخ‌های گیاه دقیق‌تر بررسی شده و توصیه کودی برای آن کارایی بهتری خواهد داشت (۳).

در تغذیه گیاه روش‌های متعارفی برای تفسیر و تحلیل نتایج به‌دست آمده از تجزیه برگ بر مبنای تعادل عناصر معرفی شده است که از آن‌ها برای تعیین و بررسی وضعیت تغذیه‌ای گیاه استفاده می‌شود. از بین این روش‌ها می‌توان به CVA[1]، DOP[2] و DRIS[3] اشاره نمود. در روش‌های CVA و DOP غلظت عناصر به ترتیب با غلظت بحرانی یا غلظت بهینه مقایسه می‌شوند. در روش DRIS با استفاده از نسبت دو عنصر غذایی نتایج بررسی می‌شوند. با استفاده از نسبت دو عنصر تنها می‌توان نتیجه گرفت که دو عنصر غذایی در تعادل نسبی هستند. به عبارت دیگر درباره این‌که دو عنصر غذایی در وضعیت مطلوب، کم‌تر یا بیش‌تر از اندازه مطلوب باشند، نمی‌توان اطلاعاتی به دست آورد (۱٤). صمدی و عزیزی (۲۰۱۱) گزارش کردند که تنها در صورتی می‌توان در خصوص تفسیر نتایج دو روش DRIS و DOP اظهار نظر نمود که از میزان کارآیی نرم‌های تعریف شده با انجام آزمایش‌های کودی اطمینان حاصل نمود (۲۵). بنابراین، برخی پژوهشگران تلاش کردند تا با روش‌های آماری از جمله PCA[4] به بهبود تفسیر نتایج DRIS کمک نمایند (٦). یکی از روش‌های نسبتاً جدید بررسی وضعیت تغذیه‌ای گیاهان، روش تشخیص چندگانه یا ترکیبی عناصر غذایی (CND[5]) می‌باشد. CND روشی کارآمد است که از نسبت‌های چندگانه و روابط ریاضی و آماری برای تشخیص تعادل تغذیه‌ای عناصر در گیاه استفاده می‌کند (۹). این روش اولین بار توسط پرنت و دافیر (۱۹۹۲) ارائه شد (۱۹). این روش برتری‌هایی نسبی در مقایسه با سایر روش‌ها دارد؛ به‌طور مثال در این روش به داده‌های کم‌تری نیاز است در نتیجه در مقایسه با سایر روش‌ها هزینه کاهش می‌یابد. هم‌چنین با استفاده از اعداد مرجع به‌دست آمده، وضعیت عناصر غذایی ارزیابی شده، کمبود و بیش‌بود عناصر تشخیص داده شده در نتیجه به بهبود توصیه‌های کودی کمک می‌شود (۳). با استفاده از روش CND می‌توان شناخت مناسبی از وضعیت عناصر غذایی در گیاه پیدا کرده و اعداد مرجعی به‌دست آورد که به کمک آن‌ها می‌توان سیاست مصرف بهینه کود را نه تنها در سطح یک باغ که در یک منطقه با دقت بیش‌تری اعمال و در سطح کلان تحقق داد (۲). پژوهش‌های اندکی وجود دارند که از روش CND برای بررسی وضعیت تغذیه‌ای گیاهان مورد مطالعه بهره برده‌اند. می‌توان به پژوهش‌های پرنت (۲۰۱۱)، دریاشناس و ثقفی (۲۰۱۱)، هوانگ و همکاران (۲۰۱۲)، چاکرالحسینی و همکاران (۲۰۱٦)، بصیرت و همکاران (۲۰۱٦) و گیگلوی و همکاران (۲۰۱۹) اشاره نمود (۱، ۲، ۳، ۷، ۱۱، ۱۹). از بین پژوهش‌های نامبرده شده تنها برخی از آن‌ها به بررسی وضعیت تغذیه‌ای برخی محصولات باغی پرداخته‌اند (۱، ۲، ۱۱، ۱۹). هوانگ و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که DRIS وCND روش‌های مناسبی برای بررسی تعادل عناصر غذایی مرکبات در خاک‌های آهکی بودند ولی CND به دلیل تعریف R_d اثر غلظت

1- Critical Value approach
2- Deviation from Optimum Percentage
3- Diagnosis and Recommendation Integrated System
4- Principle Component Analysis
5- Compositional Nutrient Diagnosis

عناصر محصولات را بهتر توضیح می‌دهد (۱۱). پژوهشگران اندکی از نتایج CND برای برطرف کردن کمبودهای عناصر غذایی بهره برده‌اند. گیگلوی و همکاران (۲۰۱۹) با روش CND کمبود عناصر غذایی گندم را در ۹۶ مزرعه کشت و صنعت شرکت مغان تعیین نمودند. سپس در آزمایشی مزرعه‌ای به برطرف کردن کمبودهای تشخیص داده شده اقدام کردند. نتایج نشان داد که کاربرد کودها در برطرف کردن کمبودهای عناصر غذایی به وضوح مشخص بود. آنان نتیجه‌گیری کردند که این روش در تشخیص عدم تعادل عناصر غذایی دارای دقت زیادی است (۷). درباره اثر مدیریت کودی بر تعادل غذایی عناصر غذایی با روش CND تنها می‌توان به پژوهش هوانگ و همکاران (۲۰۱۲) اشاره نمود. در این پژوهش اثر کاربرد Fe–EDDHA بر تعادل عناصر غذایی مرکبات در خاک‌های آهکی با pH قلیایی بررسی شد (۱۱). بنابر آن‌چه گفته شد از روش CND برای بررسی وضعیت تعادل عناصر غذایی در شرایط زراعی یا باغی استفاده شده است. چنان‌چه از یافته‌های این روش برای مدیریت استفاده شده، در شرایط کاربرد تنها کودهای شیمیایی بوده است. تاکنون پژوهشی درباره مقایسه اثر مدیریت‌های مختلف بر تعادل عناصر غذایی انجام نشده است. این پژوهش با اهداف بررسی اثر سه نوع مدیریت معدنی، آلی و تلفیقی بر وضعیت تغذیه‌ای و تعادل عناصر غذایی در برگ سیب باغ چهار ساله با رقم گالا بر پایه M_9 انجام شد.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی: پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در با سه تکرار در باغ متراکم[1] پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در سال زراعی ۹۶–۱۳۹۵ اجرا شد. اقلیم منطقه از نوع معتدل با میانگین بارندگی حدود ۴۰۸ میلی‌متر و میانگین حداقل و حداکثر درجه حرارت سالانه ۵/۹ و ۲۲/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۱۲). تیمارهای آزمایش شامل نه تیمار شاهد، مدیریت معدنی با کاربرد کودهای شیمیایی (مصرف خاکی ۶۵ گرم اوره، ۳۸ گرم سوپرفسفات تریپل و ۶۰ گرم کلرید پتاسیم در هر درخت و محلول‌پاشی آهن و روی (از کودهای سولفات آهن ($FeSO_4.7H_2O$) و سولفات روی ($ZnSO_4.7H_2O$) و کلسیم از کود کلرید کلسیم همگی با غلظت پنج در هزار)، مدیریت آلی با کاربرد کودهای آلی شامل پنج کیلوگرم کمپوست، نیم کیلوگرم کود دامی پوسیده و پنج کیلوگرم بایوچار در هر درخت و مدیریت تلفیقی شامل تیمارهای کود شیمیایی + بایوچار، کود شیمیایی + کمپوست، کود شیمیایی + کود دامی و کمپوست + بایوچار بود. تمامی کودهای آلی و کودهای شیمیایی که مصرف خاکی داشتند در یک سوم بیرونی سایه انداز درخت به کار رفتند. در تیمارهایی که کودهای شیمیایی به‌کار رفتند اوره، سوپرفسفات تریپل و کلرید پتاسیم هر سه طی سه مرحله رشد به خاک اضافه شد. مرحله اول در زمان تبدیل شدن شکوفه‌ها به میوه، مرحله دوم زمان گردویی شدن و مرحله آخر قبل از رنگ گرفتن میوه بود. هم‌چنین محلول‌پاشی آهن و روی در پنج مرحله پس از برداشت محصول سال قبل و قبل از ریزش برگ‌های درخت، پس از تبدیل شدن شکوفه به میوه (مرحله فندقی شدن)، در زمان گردویی شدن میوه و دو مرحله چهارم تا قبل از رنگ گرفتن میوه انجام گرفت. محلول‌پاشی کلرور کلسیم نیز از زمان فندقی شدن تا قبل از رنگ گرفتن میوه در پنج مرحله با فواصل زمانی یک ماهه اعمال شد. کودهای آلی مصرفی در یک مرحله در زمان جوانه زدن درخت به‌صورت چالکود اضافه شد. کمپوست زباله شهری از کارخانه کمپوست کرمانشاه خریداری و بایوچار از

1- High-density orchard

سرشاخه‌های هرس شده درخت سیب در کوره با دمای ۳۵۰ تا ٤۰۰ درجه سانتی‌گراد در شرایط کم‌هوازی تهیه شد. بایوچار پس از تولید با آب شستشو داده و بعد از خشک شدن کوبیده و الک شد. ویژگی‌های کود دامی کمپوست و بایوچار در مرکز تحقیقات آب و خاک استان کرمانشاه با روش‌های متداول تعیین ویژگی‌های کودهای آلی اندازه‌گیری شد (جدول ۲). برخی ویژگی‌های شیمیایی بایوچار مانند درصد خاکستر (۳/٤ ± ۱۹/۲) و (درصد نیتروژن ۰/۷ ± ۰/۳۸) و ویژگی‌های فیزیکی آن مانند تخلل (۰/۱٤ ± ۰/٤٦ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، حجم خلل و فرج کل (۰/٦ ± ۰/۳۵ سانتی‌مترمکعب بر گرم) و ریز (۰/۰۰۵ ± ۰/۰٤۱ سانتی‌مترمکعب بر گرم)، سطح ویژه (۸/۳ ± ۳٦ مترمربع بر گرم)، درصد رطوبت (۱/۹ ± ۱٤/۷) و ظرفیت نگهداشت آب (۱/۸ گرم آب بر گرم نمونه خشک) در سه تکرار در آزمایشگاه آکادمی علوم چین اندازه‌گیری شدند. آبیاری باغ به‌صورت هفتگی با سیستم جوی صورت گرفت. برای مقابله با کنه تارتن درختان سیب با سم پروپیلات (با غلظت نیم در هزار) چهار مرحله هر چهارده روز یک‌بار سمپاشی شد. دو مرحله سمپاشی با سم استامی پراید در۳۱ اردیبهشت و سم فوزالن در ۲٦ تیر ماه (هر دو با غلظت نیم در هزار) برای مقابله با کرم سیب انجام شد. در دهه اول تیر ماه در ابتدای صبح پنجاه نمونه برگ از هر درخت نمونه‌برداری و نمونه‌ها در پلاستیک‌های در بسته به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های برگ با آب مقطر شستشو و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی شامل ازت، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم از روش هضم تر (اسید سولفوریک- اسیدسالیسیلیک-آب اکسیژنه) و برای اندازه‌گیری آهن، روی، منگنز و مس از روش هضم خشک برای عصاره‌گیری استفاده شد (۸). سپس غلظت عناصر با روش‌های متداول تعیین شدند (۲۳). در مرداد ماه، میوه‌ها برداشت و با ترازو توزین شدند. در این مقاله عملکرد میوه در هر درخت با اصطلاح عملکرد میوه گزارش شده است.

روش CND: در این روش غلظت عناصر غذایی در گیاه به‌عنوان یک متغیر (S_d) به‌علاوه یک قسمت باقیمانده (R_d) در نظر گرفته می‌شود (رابطه ۱) (۱۹).

$$S_d = [(X_1, X_2,\ldots,R_d): X_1>0, X_2>0,\ldots, R_d>0 \quad X_1+ X_2 +\ldots+ R_d = 100] \qquad (۱)$$

قسمت باقی‌مانده (R_d) از رابطه ۲ به‌دست می‌آید (۱۹):

$$R_d =100- (X_1+X_2+\ldots+X_n) \qquad (۲)$$

که در آن‌ها، d شماره عناصر غذایی و X غلظت عناصر در نمونه گیاهی می‌باشد. میانگین هندسی کل عنصرهای غذایی (G) از رابطه ۳ محاسبه می‌شود (۱۹).

$$G = (X_1 \times X_2 \times \ldots \times R_d)^{\frac{1}{d+1}} \qquad (۳)$$

اعداد مرجع تشخیص چندگانه (V_x) از نسبت لگاریتم طبیعی غلظت هر عنصر بر G محاسبه می‌شود (رابطه ٤) (۱۹).

$$V_X = \ln(X/G) \qquad (٤)$$

برای گروه‌بندی گروه‌ها به گروه‌های با عملکرد میوه کم و زیاد، پس از به دست آوردن تابع عملکرد میوه - عنصر غذایی نقاط عطف منحنی درجه سه تعیین می‌شود (۱۹). برای این منظور، پس از مرتب کردن عملکرد میوه سیب در هر درخت به صورت

نزولی، واریانس مقادیر اعداد مرجع برای اولین عملکرد میوه و برای سایر عملکردهای میوه و نسبت واریانس آن‌ها با رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$f_i(V_x)=\frac{\text{variance of } n_1 \text{ observations}}{\text{variance of } n_2 \text{observations}} \qquad (۵)$$

سپس، تابع تجمعی نسبت واریانس $F^C_i(V_x)$ با رابطه ٦ محاسبه می‌شود.

$$F_i^C(V_x)=\left[\frac{\sum_{i=1}^{n-1} f_i(V_x)}{\sum_{i=1}^{n-3} f_i(V_x)}\right][100] \qquad (٦)$$

رابطه تابع تجمعی و عملکرد میوه (Y) از معادله درجه سه (رابطه ۷) پیروی می‌کند.

$$F_i^C(V_x)=aY^3+bY^2+cY+d \qquad (۷)$$

با محاسبه مشتق دوم معادله درجه سه، نقاط عطف منحنی‌ها تعیین می‌شوند (رابطه‌های ۸ و ۹).

$$\frac{\partial F_i^c(V_x)}{\partial Y}=3ay^2+2by+c \qquad (۸)$$

$$\frac{\partial^2 F_i^c(V_x)}{\partial Y^2}=6ay+2b=0 \qquad (۹)$$

مقدار $-b/3a$ (رابطه ۹) نشان‌دهنده عملکرد بحرانی برای گروه‌بندی گروه‌ها است. هم‌چنین در این پژوهش برای گروه‌بندی گروه‌های با عملکرد میوه کم و زیاد از روش تجزیه واریانس کیت-نلسون استفاده شد (۱۳). شاخص عناصر غذایی روش CND با رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود (۱۹).

$$I_x=\frac{V_x-V_x^*}{SD_x^*} \qquad (۱۰)$$

که در آن، V^*_x و SD^*_x به ترتیب میانگین و انحراف معیار نسبت لگاریتمی عناصر غذایی گروه با عملکرد میوه زیاد هستند و I_x شاخص عناصر غذایی می‌باشد. تعادل عناصر غذایی نیز از رابطه ۱۱ محاسبه شد (۱۹).

$$r^2=I_N^2+I_P^2+I_K^2+\ldots+I_{Rd}^2 \qquad (۱۱)$$

تجزیه و تحلیل آماری: تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در جدول ۱ و ویژگی‌های کودهای آلی در جدول ۲ گزارش شده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Some physical and chemical properties of the studied soil.

منگنز Mn	مس Cu	روی Zn	آهن Fe	پتاسیم قابل‌جذب K_{ava}	فسفر قابل‌جذب P_{ava}	نیتروژن N	کربنات کلسیم معادل $CaCO_3$	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی OC	هدایت الکتریکی EC	pH	عمق depth
mg kg^{-1}							%					dS m^{-1}		cm
9.24	1.65	2.20	5.28	499.13	15.02	202.00	8.50	26	41	33	1.48	0.33	7.82	0-30
6.50	1.30	1.70	5.00	255.26	9.70	120.12	11.00	36	33	31	1.08	0.44	7.58	30-60

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی کودهای دامی،کمپوست و بایوچار.

Table 2. Chemical properties of fertilizers, compost, and biochar.

مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	آهن Fe	پتاسیم K_2O	فسفر P_2O_5	نیتروژن N	کربن C	هدایت الکتریکی EC (1:10)	pH (1:10)	کود Fertilizer
mg kg^{-1}				(%)				dS m^{-1}		
42	95	67.5	1325	0.53	0.05	0.28	30.00	3.40	8.44	بایوچار Biochar
24	225	102	3650	3.60	1.40	2.07	36.80	3.60	8.12	کود دامی Farmyard Manure (FYM)
275	290	327	10735	1.92	1.30	1.46	14.20	3.90	7.96	کمپوست Compost

غلظت عناصر برگ سیب: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مدیریت‌های کودی بر غلظت نیتروژن، فسفر و آهن برگ معنی‌دار شد ($P<$۰/۰۵) (جدول ٤). نتایج نشان داد که غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف برگ در مدیریت‌های کودی مختلف روند بسیار متفاوتی داشته است. اما به طور کلی، با مقایسه غلظت عناصر برگ در مدیریت‌های مختلف کودی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که غلظت پتاسیم، کلسیم، روی، مس و منگنز برگ در مدیریت‌های مختلف کودی اختلاف معنی‌دار نداشت. در حالی که غلظت نیتروژن (به استثناء تیمار تلفیقی کود شیمیایی و کود دامی) و منیزیم برگ در مدیریت‌های آلی و تلفیقی در مقایسه با مدیریت معدنی افزایش یافت. غلظت آهن برگ در مقایسه با مدیریت معدنی، در مدیریت آلی کاهش و در مدیریت تلفیقی افزایش یافت (جدول ٤). بر اساس نتایج غلظت عنصرهای غذایی کم‌مصرف و پر مصرف برگ در مدیریت‌های کودی مختلف، در تیمارهای آلی کاربرد کود دامی و کمپوست به تنهایی به ترتیب کم‌ترین غلظت پتاسیم و فسفر برگ دیده شد. هم‌چنین در تیمارهای کود دامی و کمپوست به‌ترتیب بیش‌ترین غلظت مس و روی برگ در بین همه تیمارها به دست آمد. در تیمارهای تلفیقی کمبود عناصر پرمصرف و کم‌مصرف هم‌چنان وجود داشت. به گونه‌ای که کم‌ترین غلظت نیتروژن، فسفر، کلسیم و منیزیم برگ به ترتیب در تیمارهای کود شیمیایی + کود دامی، کمپوست + بایوچار، کمپوست + بایوچار و کود شیمیایی+ کمپوست وجود داشت. هم‌چنین کم‌ترین غلظت آهن، روی و منگنز برگ به ترتیب در تیمارهای کمپوست + بایوچار، کود شیمیایی + بایوچار و کود شیمیایی + کود دامی دیده شد. بنابراین می‌توان گفت بر اساس بیش‌ترین یا کم‌ترین غلظت عنصر در برگ نمی‌توان درباره بهترین مدیریت کودی به راحتی داوری نمود و بررسی وضعیت تعادل تغذیه‌ای در انتخاب مدیریت کودی کمک خواهد نمود.

بررسی وضعیت تعادل تغذیه‌ای برگ با روش CND: نمودار تابع تجمعی نسبت واریانس عناصر غذایی $F^C_i(V_x)$ در برابر عملکرد میوه در شکل ۱ نشان داده شده است. در جدول ۵ نیز ده معادله برای نه عنصر و قسمت باقی‌مانده (R_9) گزارش شده است. ضریب تبیین (R^2) مدل معادله درجه سه برای همه عناصر در دامنه ۰/۷۹-۰/۸۹ بود. نقاط عطف منحنی‌ها (-b/3a) برای $F^C_i(V_N)$=۷/۹۸، $F^C_i(V_P)$=۷/٦٤، $F^C_i(V_K)$= ۷/۱۲، $F^C_i(V_{Ca})$=۷/۸۲، $F^C_i(V_{Mg})$=۸/۰، $F^C_i(V_{Fe})$=۷/۸۷، $F^C_i(V_{Zn})$=۷/۹۸، $F^C_i(V_{Cu})$=۷/۷۹، $F^C_i(V_{Mn})$= ۷/٤۱ و $F^C_i(V_{R9})$=۸/۱۱ به‌دست آمد. به طور کلی، میانگین عملکرد میوه برای عناصر بسیار به هم نزدیک هستند و در دامنه ۷/۱۲ تا ۸/۱۱ (میانگین ۷/۷۷±۰/۳۱) کیلوگرم میوه در هر درخت

به ترتیب مربوط به پتاسیم و قسمت باقیمانده هستند. بنابراین برای گروه‌بندی گروه‌ها به دو گروه با عملکرد میوه کم و زیاد از روش تجزیه واریانس کیت- نلسون استفاده شد. بر اساس روش تجزیه واریانس کیت- نلسون تیمارهای با عملکرد میوه کم‌تر از ۸/۷۵ کیلوگرم در گروه با عملکرد میوه کم و تیمارهای با عملکرد میوه بیش از ۸/۷۵ کیلوگرم به‌عنوان گروه با عملکرد میوه زیاد دسته‌بندی شدند. بر همین این اساس، عملکرد میوه ۸/۷۵ کیلوگرم به عنوان عملکرد میوه بحرانی برای تفکیک دو گروه عملکرد میوه کم و زیاد ملاک قرار گرفت.

در گروه با عملکرد میوه کم تیمارهای شاهد، کود دامی و کمپوست و در گروه با عملکرد میوه زیاد تیمارهای کمپوست + بایوچار، کود شیمیایی + کمپوست، کود شیمیایی + بایوچار، کود شیمیایی+ کود دامی، کود شیمیایی و بایوچار قرار دارند (جدول ٦). مواد آلی می‌تواند سبب افزایش در دسترس بودن مواد غذایی خاک و فعالیت بیولوژیک خاک شود. بررسی‌ها نشان داده‌اند که منابع زیستی در تلفیق با کود شیمیایی می‌تواند به حاصلخیزی خاک و افزایش تولید محصول منجر شود، زیرا این سیستم اکثر نیازهای غذایی گیاه را تأمین کرده و کارایی جذب مواد غذایی توسط محصول را افزایش خواهد داد (١٤). بر اساس داده‌های جدول ۵، از آن‌جایی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین عملکرد میوه اختلاف کمی با هم دارند، بنابراین نمی‌توان درباره محدودیت عملکرد میوه به‌علت کمبود یا بیش‌بود برخی عناصر غذایی به‌راحتی نتیجه‌گیری کرد.

جدول ۳- مجموع مربعات عناصر پرمصرف و کم‌مصرف برگ سیب در تیمارهای کودی مختلف.

Table 3. Sum of squares of macro-and micronutrients of apple leaves under different fertilizer treatments.

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of squares								
		نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn
بلوک Block	2	0.30 ns	0.00 ns	0.37 ns	0.68 ns	0.00 ns	3017.35 ns	680.07 ns	9.56 ns	3608.67 ns
تیمار کودی Fertilizer	8	2.46 ns	0.03 *	1.52 ns	4.12 ns	0.05 ns	154580.19 **	1026.96 ns	825.33 ns	5192.67 ns
خطا Error	16	2.60	0.02	4.58	5.51	0.32	10845.82	2650.59	1911.11	13393.33
کل Total	27	175.34	0.70	60.99	86.78	6.49	567510.25	16603.00	15814.00	639635.00

*، ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری.

*, ** and ns respectively, at the probability level of five and one percent and no significant.

اعداد مرجع تشخیص چندگانه عناصر غذایی جدول ۷ گزارش شده است. لازم به ذکر است که منفی بودن اعداد مرجع به‌دلیل کم‌تر بودن مقدار عددی میانگین غلظت عنصر از میانگین هندسی می‌باشد. مجموع اعداد مرجع تشخیص چندگانه ($\sum V_x^*$) صفر می‌باشند که صحت محاسبه‌ها را نشان می‌دهد (۲۲، ۱۸، ۳، ۲). نتایج نشان داد که در گروه با عملکرد میوه زیاد میانگین اعداد مرجع برای نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و منیزیم برگ مثبت و برای فسفر، آهن، روی، مس و منگنز برگ منفی بودند (جدول ۷).

میانگین غلظت‌های مطلوب عناصر غذایی (در گروه با عملکرد میوه زیاد) در جدول ۷ نشان داده شده است. غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم برگ در گروه با عملکرد میوه کم به ترتیب ۲/٦۸، ۰/۱۸، ۱/۳۱، ۱/۸٤ و ۰/٤۷ درصد به دست آمد. غلظت آهن، روی، مس و منگنز برگ در گروه با عملکرد میوه کم به ترتیب ۲۲/٤٤، ٦٤/٥٦، ۱۷/٤٤ و ۱٥٤/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. مقایسه غلظت عنصرهای غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در گروه با عملکرد میوه کم با گروه با عملکرد میوه زیاد نشان داد که غلظت نیتروژن، فسفر، کلسیم، آهن و منگنز برگ در گروه با عملکرد میوه کم به ترتیب ۱۰/٤٦، ۳۰/٤۱، ۱٤/۸۸، ۸/۳۱ و ۳/٦۸ درصد از غلظت این عناصر در گروه با عملکرد میوه زیاد بیش‌تر می‌باشد.

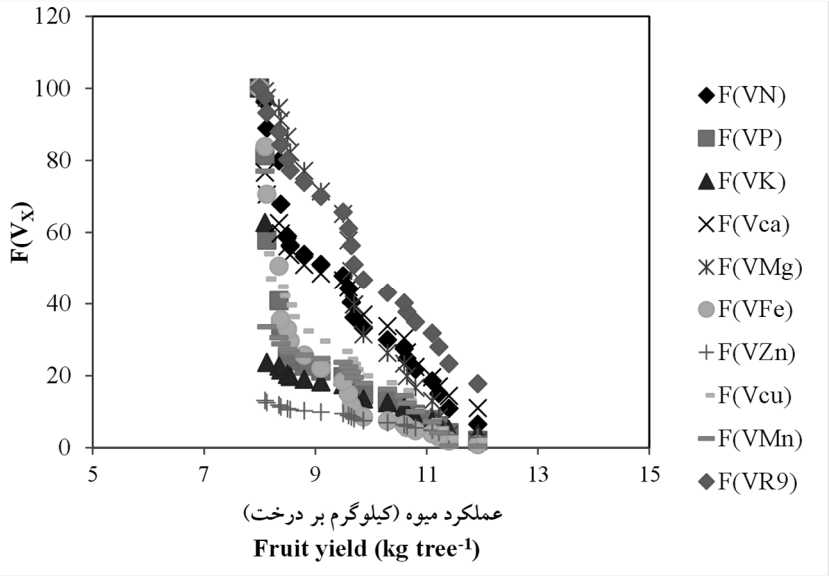
جدول ٤- میانگین غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف برگ سیب در مدیریت‌های کودی مختلف.

Table 4. Average concentrations of macro-and micronutrients of apple leaves under different fertilizer management.

مدیریت کودی Fertilizer management	تیمار Treatments	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn
		%					mg kg^{-1}			
	شاهد (Control)	2.50^{ab}	0.19^{b}	1.06^{a}	1.30^{a}	0.41^{a}	56.50^{a}	18.67^{a}	17.00^{a}	159.67^{a}
معدنی Mineral	کود شیمیایی (Chemical fertilizer)	2.26^{ab}	0.14^{ab}	1.48^{a}	1.44^{a}	0.47^{a}	216.67^{c}	27.33^{a}	20.67^{a}	163.00^{a}
آلی Organic	کود دامی (FYM)	2.79^{b}	0.18^{b}	1.09^{a}	2.11^{a}	0.52^{a}	53.00^{a}	17.67^{a}	15.67^{a}	152.67^{a}
	کمپوست (Compost)	2.75^{b}	0.19^{b}	1.67^{a}	2.11^{a}	0.48^{a}	59.00^{a}	31.00^{a}	19.67^{a}	152.33^{a}
	بایوچار (Biochar)	2.51^{ab}	0.13^{ab}	1.60^{a}	1.53^{a}	0.45^{a}	58.00^{a}	30.33^{a}	28.67^{a}	139.00^{a}
تلفیقی Integrated	کود شیمیایی+کود دامی (Chemical fertilizer+ FYM)	1.89^{a}	0.16^{b}	1.47^{a}	1.23^{a}	0.55^{a}	194.67^{bc}	20.00^{a}	34.33^{a}	117.33^{a}
	کود شیمیایی+کمپوست (Chemical fertilizers+ compost)	2.54^{ab}	0.18^{b}	1.19^{a}	2.01^{a}	0.42^{a}	165.67^{b}	17.67^{a}	20.00^{a}	154.33^{a}
	کود شیمیایی+ بایوچار (Chemical fertilizer +biochar)	2.37^{ab}	0.16^{b}	1.75^{a}	2.18^{a}	0.47^{a}	238.00^{bc}	13.33^{a}	20.67^{a}	163.00^{a}
	کمپوست + بایوچار (Compost + biochar)	2.97^{b}	0.08^{a}	1.48^{a}	1.22^{a}	0.51^{a}	52.67^{a}	15.67^{a}	21.33^{a}	159.67^{a}

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰٥) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.05).



شکل ۱- نمودار تابع تجمعی نسبت واریانس عناصر غذایی ($F^{C}_{i}(V_x)$) در برابر عملکرد میوه.

Figure 1. The cumulative variance function $F^{C}_{i}(V_x)$ related to fruit yield.

جدول ۵- توابع تجمعی واریانس نسبت لگاریتمی عناصر غذایی، ضریب تبیین و عملکرد میوه در نقطه عطف منحنی.

Table 5. cumulative variance functions of logarithmic nutrients ratio, coefficient of determination and mean yield at the cutoff point of the curve.

عنصر غذایی Nutrient	معادله $F_i^C(V_x)=aY^3+bY^2+cY+d$	ضریب تبیین R^2	نقطه عطف Cutoff point of the curve (kg)
نیتروژن N	$Y = 3.6395X^3 - 87.128X^2 + 685.38X - 1764.8$	0.79 **	7.98
فسفر P	$Y = 1.9012X^3 - 43.56X^2 + 340.13X - 887.15$	0.86**	7.64
پتاسیم K	$Y = 2.1209X^3 - 51.646X^2 + 429.27X - 1176.7$	0.85**	7.12
کلسیم Ca	$Y = 2.1944X^3 - 51.5X^2 + 409.21X - 1077.1$	0.86**	7.82
منیزیم Mg	$Y = 4.6804X^3 - 112.33X^2 + 883.14X - 2269.9$	0.87**	8.00
آهن Fe	$Y = 4.021X^3 - 94.92X^2 + 735.46X - 1866.9$	0.89**	7.87
روی Zn	$Y = 1.6863X^3 - 40.377X^2 + 334.78X - 919.08$	0.83**	7.98
مس Cu	$Y = 2.2937X^3 - 53.63X^2 + 423.05X - 1105.4$	0.86**	7.79
منگنز Mn	$Y = 2.1247X^3 - 47.244X^2 + 351.41X - 868.46$	0.84**	7.41
قسمت باقی‌مانده R_9	$Y = 2.1779X^3 - 53.001X^2 + 437.61X - 1180$	0.84**	8.11

جدول ٦- نتایج روش تجزیه واریانس کیت- نلسون در گروه‌بندی جامع براساس عملکرد میوه سیب.

Table 6. Results of Cate-Nelson statistical method in grouping based on apple fruit yield.

R^2	عملکرد میوه Fruit yield (kg)	تیمار Treatments	گروه‌بندی Grouping
0.40	6.24^{e}	شاهد (Control)	
0.57	7.86^{d}	کمپوست (Compost)	گروه با عملکرد میوه کم Low- fruit yield subgroup
0.63	8.29^{cd}	کود دامی (FYM)	
0.64	8.75^{cd}	کمپوست + بایوچار (Compost + biochar)	
0.62	8.83^{c}	کود شیمیایی + کمپوست (Compost +chemical fertilizers)	
0.59	9.82^{b}	کود شیمیایی + بایوچار (Biochar +chemical fertilizers)	گروه با عملکرد میوه زیاد High-fruit yield subgroup
0.53	9.87^{b}	کود شیمیایی + کود دامی (FYM +chemical fertilizers)	
0.31	10.83^{a}	کود شیمیایی (Chemical fertilizer)	
0.32	11.51^{a}	بایوچار (Biochar)	

در حالی‌که غلظت پتاسیم، منیزیم، روی و مس برگ در گروه با عملکرد میوه کم به ترتیب ۹/۵۰، ۱/۷٤، ۵۸/۱٦ و ۲۸/۱۵ درصد از غلظت این عناصر در گروه با عملکرد میوه زیاد کم‌تر می‌باشد. تولید موفقیت‌آمیز محصولات کشاورزی مستلزم وجود خاک مناسب و مقدار کافی از عناصر غذایی و قابل‌استفاده گیاه است (۲۰). در میان عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، عنصرهای غذایی کم‌مصرف که دارای نقش متابولیسمی در زندگی گیاه هستند هر چند در مقادیر کم مورد نیاز می‌باشند، فقدان آن‌ها می‌تواند مسائل جدی در تولید محصول و سلامتی انسان‌ها و حیوانات ایجاد کند (۱۰). بیش‌ترین غلظت عناصر غذایی در تیمارهای حاوی کودهای آلی مشاهده شد. اثر مواد آلی در تغذیه بهتر گیاه از عناصر ریزمغذی بدین صورت است که عناصر ریزمغذی در pHهای معمولی خاک‌های زراعی معمولاً نامحلول و در نتیجه غیر قابل استفاده‌اند. اسیدهای هومیک و فلویک با این کاتیون‌ها کمپلکس‌هایی را ایجاد می‌کنند که در pHهای معمولی خاک محلول در آب هستند و قابل‌استفاده گیاهان می‌باشند. بعضی از مواد آلی خاک مانند اسید هومیک با ایجاد ترکیبات پیچیده‌تر، عناصر ریزمغذی را جذب و به ریشه منتقل می‌کند (۲٤).

عدم تعادل عناصر غذایی: مقدار شاخص عناصر غذایی (I_x) و شاخص تعادل عناصر غذایی (r^2) در جدول ۸ گزارش شده است. در روش تشخیص چندگانه، اعداد مرجع و شاخص‌ها، حاصل اثرات متقابل عناصر در شرایط محیطی متفاوت بوده و شاخص‌های عناصر غذایی در این روش، متغیری مستقل و نرمال هستند. در مورد شاخص تعادل عناصر هرچه مقدار عددی این شاخص به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده تعادل عناصر غذایی بیش‌تر می‌باشد (۱۳). نتایج نشان داد که مقدار شاخص تعادل عناصر غذایی در همه مدیریت‌های کودی بزرگ‌تر از یک می‌باشد که نشان‌دهنده عدم تعادل عناصر غذایی در

مدیریت‌های کودی مختلف می‌باشد (جدول ۸). بصیرت و همکاران (۲۰۱۶) بیش‌ترین عامل کاهش عملکرد انگور رقم شاهرودی را کمبود عناصر غذایی گزارش کردند که با استفاده از روش CND در برگ این درختان تشخیص داده بودند (۱). چاکرالحسینی و همکاران (۲۰۱۶) اعداد مرجع، دامنه مطلوب و محدودیت عناصر غذایی برگ پرتقال را با استفاده از روش CND تعیین کردند. آن‌ها دریافتند که دلایل قرار گرفتن ۵۷ درصد از باغ‌ها در گروه با عملکرد کم‌تر از عملکرد حد متوسط می‌تواند به دلیل عدم تعادل عناصر غذایی در این دسته از باغ‌ها باشد (۲). مقدار شاخص تعادل عناصر غذایی در بین مدیریت‌های مختلف کودی اختلاف کمی با هم دارند. در توضیح نتایج تعادل عناصر غذایی باید گفته شود که تیمار کاربرد بایوچار به تنهایی که بیش‌ترین عملکرد میوه را در بین تیمارها به خود اختصاص داده بود (۱۱/۵۱ کیلوگرم) در جدول ۸ در مدیریت آلی جای گرفته است و سبب شده که میانگین شاخص وضعیت تعادل عناصر غذایی تیمارهای آلی کاهش یابد. از سوی دیگر با جدا نمودن تیمار معدنی از گروه با عملکرد میوه زیاد، میانگین شاخص وضعیت تعادل عناصر غذایی در مدیریت تلفیقی افزایش یافته است و اعداد سه روش مدیریتی به هم نزدیک شده‌اند. براساس شاخص عناصر غذایی ترتیب کمبود عناصر غذایی برای مدیریت‌های کودی مختلف در جدول ۸ نشان داده شده است. در تیمار شاهد، شاخص‌های آهن، پتاسیم، منیزیم، مس و کلسیم منفی و شاخص‌های روی، منگنز، نیتروژن وفسفر مثبت بودند. با کاربرد کودهای شیمیایی شاخص آهن به‌عنوان محدودکننده‌ترین عنصر در تیمار شاهد از ۱/۲۴- به ۰/۷۷ (مثبت‌ترین شاخص) افزایش یافته است. با کاربرد کودهای آلی شاخص کلسیم از ۰/۱۷- در تیمار شاهد به ۰/۵۲ افزایش یافت. در مدیریت آلی، آهن هم‌چنان منفی‌ترین شاخص می‌باشد. شواهد عینی نشان داد که در تیمارهای آلی علائم کمبود آهن برگ به وضوح دیده شد. در مقایسه با تیمار معدنی شاخص‌های نیتروژن، کلسیم و فسفر به ترتیب از ۰/۶-، ۰/۵۷- و ۰/۳۶- به ۰/۵، ۰/۵۲ و ۰/۷۴ (مثبت‌ترین شاخص) افزایش یافت. در تیمارهای تلفیقی مقادیر شاخص‌های کلسیم، منیزیم و آهن به‌ترتیب از ۰/۱۷-، ۰/۴۲- و ۱/۲۴- در تیمار شاهد به ۰/۱۵، ۰/۰۷ و ۰/۱۵ افزایش یافت. هم‌چنین در تیمارهای تلفیقی مقادیر شاخص نیتروژن به عنوان منفی‌ترین شاخص در تیمار معدنی از ۰/۶- به ۰/۰۶ و شاخص فسفر از ۰/۳۶- در تیمار معدنی به ۰/۱۲ افزایش یافت. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد پژوهشگران اندکی اثر یک نوع مدیریت را بر تعادل عناصر غذایی بررسی کرده‌اند. هوانگ و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که پس از کاربرد Fe–EDDHA اگرچه شاخص آهن بهبود یافت، آهن هم‌چنان در وضعیت کمبود بود. آن‌ها هم‌چنین گزارش کردند که شاخص روی از جایگاه سومین عنصر دارای کمبود در باغ‌هایی که کود حاوی آهن دریافت نکرده‌اند (تیمار نشده) به منفی‌ترین شاخص تغییر مکان داد. وضعیت تغذیه‌ای منگنز در هر دو نوع باغ (تیمار نشده و تیمار شده با کود آهن) تغییر نکرد. اگرچه وضعیت تغذیه‌ای پتاسیم در هر دو تیمار یکسان مانده بود، شاخص پتاسیم در باغ‌های تیمار شده ۰/۳۴ کاهش یافت. ترتیب کمبود عناصر نیتروژن و کلسیم در باغ‌های تیمار نشده نیز تغییر یافته بود (۱۱). نتایج گیگلوی و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که در مزارع گندمی که در زیرگروه با اعداد مثبت واقعی گروه‌بندی شده بودند تعادل بین عناصر غذایی وجود نداشت. عدم تعادل بین عناصر غذایی شامل آهن، مس و روی بود که پس از کاربرد آهن، روی، منگنز و مس در آزمایش مزرعه‌ای تعادل عناصر غذایی برقرار شد (۷).

جدول ۷- اعداد مرجع تشخیص چندگانه و میانگین غلظت عناصر غذایی برگ سیب در گروه با عملکرد میوه زیاد.

Table 7. Compositional nutrient diagnosis norms and average concentration of nutrients in apple leaves in a high-fruit yield subgroup.

		V^*_X	SD_x^*	میانگین غلظت عناصرغذایی[£] Mean concentration	انحراف معیار Standard deviation
نیتروژن	N	2.64	0.24	2.42	0.25
فسفر	P	-0.24	0.20	0.14	0.03
پتاسیم	K	2.12	0.15	1.45	0.09
کلسیم	Ca	2.22	0.18	1.60	0.33
منیزیم	Mg	1.02	0.17	0.48	0.03
آهن	Fe	-2.57	0.59	20.72	5.41
روی	Zn	-4.59	0.30	154.28	65.96
مس	Cu	-4.33	0.21	24.28	4.81
منگنز	Mn	-2.48	0.23	149.39	14.15
قسمت باقیمانده	R_9	6.20	0.11		
	$\sum V^*_x$	0.00			

[£] غلظت عنصرهای پرمصرف بر حسب درصد و کم‌مصرف بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد.

[£] Concentration of macronutrients in percentage and micronutrients in mg kg^{-1}.

جدول ۸- نتایج روش CND در تیمارهای مدیریت‌های مختلف کودی.

Table 8. CND diagnosis results for each treatment of different fertilizer management.

ترتیب کمبود عناصر غذایی Deficiency order	r^2	I_{R9}	I_{Mn}	I_{Cu}	I_{Zn}	I_{Fe}	I_{Mg}	I_{Ca}	I_K	I_P	I_N	مدیریت کودی Fertilizer management
Fe<K<Mg<Cu<Ca<Zn<Mn<N<P	8.49	1.40	0.63	-0.39	0.22	-1.24	-0.42	-0.17	-0.45	1.68	0.66	شاهد Control
N<Ca<Cu<P<Mg<K<Mn<Zn<Fe	8.58	-0.52	0.17	-0.37	0.61	0.77	-0.29	-0.57	-0.17	-0.36	-0.60	معدنی Mineral
Fe<Cu<K<Mn<Mg<N<Ca<Zn<P	8.95	0.16	0.14	-0.27	0.53	-1.44	0.15	0.52	-0.03	0.74	0.50	آلی Organic
Zn<Cu<Mn<K<N<Mg<P<Fe<Ca	9.86	0.09	-0.05	-0.08	-0.30	0.15	0.07	0.15	-0.02	0.12	0.06	تلفیقی Integrated

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش به مدیریت بهینه درختان سیب در باغ مورد مطالعه و شرایط مشابه کمک می‌کند. بر اساس یافته‌های این پژوهش در مدیریت‌های کودی مختلف مورد مطالعه، ترتیب کمبود و بیش‌بود عناصر غذایی مشخص گردید. بنابراین برای نیل به عملکرد میوه بیش‌تر ضروری است که در برنامه‌های آتی کوددهی این یافته‌ها در نظر گرفته شده و نسبت به برطرف نمودن کمبود عناصر غذایی اقدام نمود. به‌طورکلی، کمبود عنصرهای غذایی کم‌مصرف هم‌چون آهن، روی، مس و منگنز در مدیریت‌های کودی مختلف باید در نظر گرفته شود. در بین عنصرهای غذایی پرمصرف کمبود کلسیم، فسفر، منیزیم و پتاسیم در مدیریت معدنی باید برطرف شوند. در مدیریت‌های آلی و تلفیقی کمبود پتاسیم یکی از عوامل محدودکننده تولید بیش‌تر سیب بود. با وجود زیاد بودن پتاسیم قابل‌جذب خاک (میانگین ۳۷۷/۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کمبود پتاسیم به دلیل اثر متقابل بین پتاسیم و کلسیم و منیزیم با کاربرد کودهای آلی به تنهایی یا به صورت تلفیق با یکدیگر به وجود آمد. بر اساس عملکرد میوه، کاربرد کود شیمیایی یا بایوچار به تنهایی در اولویت قرار گرفت. سپس مدیریت تلفیقی شامل کود شیمیایی+ بایوچار و کود شیمیایی + کود دامی و در نهایت کود شیمیایی + کمپوست، بسته به در دسترس بودن منابع نامبرده شده توصیه می‌شود.

منابع

1. Basirat, M., Akhiani, A., and Daryashenas, A. 2016. Estimation of reference numbers of food elements for grapes of Shahroudi cultivar by multiple method of food element identification or (CND). Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences). 30: 1. 1-11. (In Persian)
2. Chakerolhosseini, M., Khorasani, R., Fotovat, A., and 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).
3. Daryashenas, A., and Saghafi, K. 2011. Compositional nutrient diagnosis in sugar beet. Iranian Journal of Soil Research (Formerly Soil and Water Sciences). 25: 1. 1-12. (In Persian)
4. FAO. 2017. Production statistics crops processed. Available at https:// knoema.com/FAOPRDSC2017/production-statistics-crops-crops-processed.
5. Forge, T., Hogue, E., Neilsen, G., and Neilsen, D. 2003. Effects of organic mulches on soil microfauna in the root zone of apple: implications for nutrient fluxes and functional diversity of the soil food web. Applied Soil Ecology. 22: 39-54.
6. Geiklooi, A., Reyhanitabar, A., Najafi, N., and Homei, H. 2017. Diagnosis of nutrient imbalance in wheat plant by DRIS and PCA approaches. Journal of Plant Physiology and Breeding, 7: 2. 1-11.
7. Geikloue, A., Reyhanitabar, A., and Najafi, N. 2019. Investigating the balance status of nutrients in wheat plant using isometric log ratio and field validation of balances. Agronomy Journal. 111: 5. 2404-2410.
8. Gupta, P.K. 2000. Soil, plant water and fertilizer analysis. Agrobios Publisher, India. 438p.
9. Hernandez-Caraballo, E.A., Rodriguez-Rodriguez, O., and Rodriguez-Perez, V. 2008. Evaluation of the Boltzmann equation as an alternative model in the selection of the high-yield subsample within the framework of the compositional nutrient diagnosis system. Environmental and Experimental Botany. 64: 3. 225-231.

10. Hosseinpour, R., and Ghajar Sepanlou, M. 2012. Evaluating the effects of integrate municipal waste compost and chemical fertilizers on micronutrient avaiability in soil and lettuce (*Lactuca sativa* L.), Journal of Water and Soil Conservation Research. 19: 3. 123-140. (In Persian)
11. Huang, H., Xiao Hu, C., Tan, Q., Hu, X., Sun, X., and Bi, L. 2012. Effects of Fe–EDDHA application on iron chlorosis of citrus trees and comparison of evaluations on nutrient balance with three approaches. Scientia Horticulturae. 146: 137-142.
12. Imarai, A. 2013. Investigation of Kermanshah province climate studies with climate design approach to architecture for environmental comfort. First national conference on architecture, restoration, urban development and sustainable environment. Pp: 1-24. (In Persian)
13. Khiari, L., Parent, L.E., and Tremblay, N. 2001. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. Agronomy Journal. 93: 802-808.
14. Khoshgoftarmanesh, A.H. 2007. Principles of plant nutrition, Isfahan University of Technology press. 339p. (In Persian)
15. Majidian, M., Ghalavand, A., Karimian, N., and Kamgar Haghighi, A.A. 2008. Effects of moisture stress, nitrogen fertilizer, manure and integrated nitrogen and manure fertilizer on yield, yield components and water use efficiency of SC 704 corn. Journal of Water and Soil Science. 12: 45. 417-432.
16. Malakouti, M., and Tabatabaei, S.J. 1999. Balanced orchard fertilization for higher yield and better fruit quality in the calcareous soils of Iran. Sana Publications. 266p. (In Persian)
17. Malakouti, M., Majidi, A., Sarcheshme Pour, M., Dehghani, F., Shahabi, A., Keshavarz, P., Basirat, M., Rastegar, H., Taheri, M., Gandoomkar, A., Tadin, M., Asadi, A., Kiani, Sh., Bybordi, A., Mahmoudi, M., Saleh, G., Mostashari, M., Manouchehri, S., Afkhami, M., Rasuli M., and Mozaffari, V. 2005. Identification of nutritional abnormalities, determination of qualitative criteria and optimal concentration of nutrient concentration in fruits produced in calcareous soils. Sana Publications. 452p. (In Persian)
18. Parent, L.É 2011. Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. Revista Brasileira de Fruticultura. 33: 321-334.
19. Parent, L.E., and Dafir, M. 1992. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. Journal of American Society Horticulture Science. 117: 239-242.
20. Pourkhiz, A., and Hekmat, M. 2011. Evaluating the effects of compost on the process of increasing soil organic matter and improving plant nutrition in Mazandaran province., National Conference on New Achievements in Agriculture. (In Persian)
21. Robin, A., Smidt, R.A.K, and Dickson, W. 2001. Use of compost in agriculture, Frequently Asked Questions (FAQs). Remade Scotland. Pp: 324-336.
22. Rozane, D., Junior, D.M., Parent, S., Natalei, W., and Parent, L.E. 2011. Compositional meta-analysis of citrus varieties in the state of São Paulo Brazil.The 4th International workshop on compositional data analysis.
23. Rayan, J., Estefan, G., and Rashid, A. 2001. Soil and plant analysis laboratory manual. ICARDA, 172p.
24. Salardini, A. 2003. Soil fertility. Tehran University Press. Pp: 118-120. (In Persian)
25. Samadi, A., and Majidi, A. 2011. Norms establishment of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) and comparison with DOP approach for nutritional diagnosis of seedless grape (Sultana, cv) in western Azarbaijan province, Iran. Journal of Soil Research. 24: 2. 89-105. (In Persian)
26. Velasco, R., Zharkikh, A., Affourtit, J., Dhingra, A., Cestaro, A., Kalyanaraman, A., Fontana, P., Bhatnagar, S.K., Troggio, M., and Pruss, D. 2010. The genome of the domesticated apple (Malus × domestica Borkh.). Nature genetics. 42: 833.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 11(2), 2021
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2021.18030.1951

(Research Full Paper)

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Investigation of different fertilizer management effect on nutritional status of apple by compositional nutrient diagnosis

S. Zandi[1], A. Fatemi[*2], M. Saiedi[3] and F. Hamedi[4]

[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, Razi University, [2]Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Razi University, [3]Associate Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Razi University, [4]Scientific Staff Member, Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah

Received: 05.22.2020; Accepted: 02.14.2021

Abstract

Background and Objectives: Apples are the world's largest commercial fruit orchard. According to the World Food Agriculture Organization in 2017, Iran is one of the top three apple producers in the world. Nutrition is one of the important factors that affect the quality and quantity of fruit. This study was conducted to evaluate and compare different fertilizer management on the nutritional status of apple trees in 1397-1398 at Razi University of Kermanshah (34° 19′ N and 47° and 7′ E).

Materials and Methods: This research was conducted to a complete randomized block design in a four-year-old high-density apple orchard with Gala cultivar based on M_9. Different managements included mineral, organic, and integrated systems. In the chemical management, 65 g urea, 38 g triple superphosphate, and 60 g KCl per tree plus the foliar application of ferrous, zinc, and calcium were used. Inorganic management 5 kg compost, 0.5 kg farmyard manure (cow), and 5 kg biochar per tree were used. The integrated management included chemical fertilizers + biochar, chemical fertilizers +compost, chemical fertilizers + farmyard manure, and compost + biochar. The balance of nutrients in apple leaf nutrients was investigated using the compositional nutrient diagnosis (CND) method.

Results: The coefficient of determination (R^2) of the third-order equation model for all elements was in the range of 0.79-0.89. The cutoff points of the curves (-b/3a) for nitrogen 7.98, phosphorus 7.64, potassium 7.12, calcium 7.82, magnesium 8.00, ferrous 7.87, zinc 7.98, copper 7.79, manganese 7.41 and residual value (R_9) 8.11 kg were obtained. In general, the average fruit yield for different elements are so closed and ranged from 7.12 to 8.11 (on average of 7.77±0.31) related to potassium and R_9, respectively. According to the Cate-Nelson method, fruit yield equals 8.75 kg was chosen as critical fruit yield to grouping the groups into high- and low- fruit yield subgroups. The control, farmyard manure, and compost treatments belonged to a low- fruit yield subgroup. While integrated treatments as well as chemical fertilizers and biochar treatments grouped in the high- fruit yield subgroup. The results indicated that in the high-fruit yield subgroup the average of compositional nutrient diagnosis norms (V*(X)) were positive for nitrogen, potassium, calcium, and magnesium besides negative for phosphorus, ferrous, copper, and manganese. The balance index (r^2) indicated the imbalances of nutrients under different fertilizer managements. After the application of different fertilizers, some indices were changed from the most negative amounts to the most positive amounts. These changes were found for the ferrous index in chemical management, calcium index in organic management, and

* Corresponding Author; Email: a.fatemi@razi.ac.ir

nitrogen and phosphorus indices in integrated management (in comparison with the application of only chemical fertilizers). In integrated management calcium, magnesium, and ferrous indices were increased from -0.17, -0.42, and -1.24 in untreated trees to 0.15, 0.07, and 0.15, respectively.

Conclusion: It is necessary to consider micronutrients' deficiency in the future fertilizer management of the studied apple orchard. Among macronutrients calcium, phosphorus, magnesium, and potassium in mineral fertilizer management should be considered. The potassium deficiency was one of the limiting factors to produce apple fruit in organic and integrated fertilizer management. Based on the fruit yield, the application of chemical fertilizers or biochar was recommended. For the integrated management, chemical fertilizer +biochar, chemical fertilizer + farmyard manure, and chemical fertilizer +compost were suggested regarding the available fertilizers.

Keywords: Biochar, Chemical fertilizers, Compost, Farmyard manure, Gala