Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 53, No 2, Summer 2022 (391-404)
DOI: 10.22059/ijhs.2021.330671.1969

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۳، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۱ (ص ۴۰۴-۳۹۱)

نشریه پژوهشی:

ارزیابی غلظت عناصر مغذی و شاخص‌های فتوسنتزی برگ سیب تحت مدیریت خاک و کوددهی مختلف

روح اله علی[۱]، سیامک کلانتری[۲*]، سید محمود سمر[۳] و حسین صفّاری[٤]
۱ و ۲. دانشجوی دکتری و دانشیار، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳ و ٤. دانشیار و استادیار، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۷/٤ - تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۱۰/۱)

چکیده

تغذیهٔ مؤثر درختان میوه با کم‌ترین نهاده می‌تواند کمک قابل‌توجهی در مصرف بهینهٔ کودهای شیمیایی و کاهش هزینه‌ها داشته باشد. از طرف دیگر، نوع مدیریت خاک نیز نقش غیرقابل انکاری در قابلیت دسترسی ریشه‌های گیاهان به مواد مغذی ایفا می‌کند. بنابراین، یک پژوهش سه ساله (۱۳۹٦، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) برای ارزیابی اثر نوع مدیریت خاک (خاک‌ورزی مرسوم و بدون‌خاک‌ورزی) و نوع کوددهی (شاهد، هیدروژل، کود کامل، کود کامل + هیدروژل و اسید هیومیک) بر شاخص‌های فتوسنتزی و عناصر غذایی برگ در سیب رقم دلبار استیوال پیوند شده روی پایهٔ مالینگ مرتون ۱۰٦ واقع در کمال‌شهر شهرستان کرج انجام شد. نتایج نشان داد بیش‌ترین درصد نیتروژن برگ (۲/۷٤٪) در تیمار بدون‌خاک‌ورزی × هیدروژل و کم‌ترین درصد نیتروژن برگ (۲/۱٤٪) نیز در تیمار خاک‌ورزی متداول × هیدروژل مشاهده شد. بیش‌ترین درصد فسفر برگ (۰/۲۲٪) متعلق به تیمار خاک‌ورزی مرسوم در سال ۱۳۹۸ بود، در حالی‌که کم‌ترین درصد فسفر برگ (۰/۱۸٪) متعلق به تیمار بدون‌خاک‌ورزی در سال ۱۳۹۸ بود. بیش‌ترین مقدار مس برگ (٤۰/٤ میلی‌گرم/کیلوگرم وزن خشک) متعلق به تیمار ترکیبی هیدروژل× بدون‌خاک‌ورزی در سال ۱۳۹۸ بود. همچنین، کم‌ترین مقدار مس برگ (۹/۹ میلی‌گرم/کیلوگرم وزن خشک) متعلق به اثر متقابل سه‌گانه اسید هیومیک × خاک‌ورزی مرسوم در سال ۱۳۹۷ بود. در کل، به نظر می‌رسد که در کوتاه مدت اثرات مثبت بدون‌خاکورزی در باغ قابل‌دستیابی نبوده و مرحلهٔ گذار از خاکورزی متداول به بدون‌خاکورزی باید سپری شود.

واژه‌های کلیدی: **تغذیهٔ گیاهی، درختان میوه، سیستم خاکورزی.**

Evaluation of nutrient concentrations and photosynthetic indices of apple leaves under different soil management and fertilization

Ruhollah Ali[1], Siamak Kalantari[2*], Seyyed Mahmood Samar[3] and Hossein Saffari[4]
1, 2. Ph. D. Candidate and Associate Professor, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3, 4. Associate Professor and Assistant Professor, Soil & Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(Received: Sept. 26, 2021- Accepted: Dec. 22, 2021)

ABSTRACT

Effective nutrition of fruit trees with the least input can significantly help in the optimal use of chemical fertilizers and reduce costs. On the other hand, the type of soil management also plays an undeniable role in the ability of plant roots to access nutrients. Therefore, three-year study (2017, 2018 and 2019) was carried out to evaluate the effect of soil management type (conventional tillage and no-tillage) and fertilizer type (control, hydrogel, complete fertilizer, complete fertilizer + hydrogel and humic acid) on photosynthetic indices and leaf nutrients in apple Delbar Estivale grafted on the base of MM106 located in Kamalshahr, Karaj county. The results showed that the highest percentage of leaf nitrogen (2.74%) was observed in conventional tillage ×hydrogel treatment and the lowest percentage of leaf nitrogen (2.14%) was observed in conventional tillage ×hydrogel treatment. The highest percentage of leaf phosphorus (0.22%) belonged to conventional till treatment in 1398, while the lowest percentage of leaf phosphorus (0.18%) belonged to conventional tillage treatment in 2019. The highest leaf copper (40.4 mg.kg^{-1} dry) belonged to the triple interaction of hydrogel and no- tillage in 2019. Also, the lowest leaf copper (9.9 mg.kg^{-1} dry) belonged to the triple interaction of humic acid and conventional till in 2018. In general, it seems that the positive effects of no-tillage in orchard are not achievable in the short term and the transition stage from conventional tillage to no-tillage must be completed.

Keywords: Fruit trees, plant nutrition, tillage system.

* Corresponding author E-mail: kalantaris@ut.ac.ir

مقدمه

سیب با نام علمی *Malus domestica pumila* یکی از کهن‌ترین درختان میوهٔ خزان‌دار از خانوادهٔ گل‌سرخیان در جهان است که قابلیت سازگاری در اقلیم‌های مختلف را دارد و منشاء اصلی آن نیز آسیای مرکزی است (Brite, 2021). در سطح جهان، میزان تولید سیب ۶۴/۲ میلیون تُن بوده است که در مجموع، پنج کشور اول تولیدکنندهٔ این محصول باغی شامل چین (۴۱ میلیون تُن)، آمریکا (۴/۷ میلیون تُن)، ترکیه (۳ میلیون تُن)، هند (۲/۴ میلیون تُن) و ایران (۲/۱ میلیون تُن) نزدیک به ۸۲/۷۰٪ از آن را به خود اختصاص داده‌اند (Wang *et al*., 2019).

امروزه، بسیاری از اراضی مستعد و قابل‌زرع جهان زیر کشت محصولات کشاورزی رفته‌اند. این رخداد، ناگزیر پیامدهای زیست‌محیطی خود را نیز به دنبال داشته است. از این‌رو، بسیاری از تحقیقات کشاورزی در پی یافتن راه‌حل‌هایی کم‌هزینه و سازگار با محیط‌زیست برای مهار یا تقلیل اثر عوامل کاهندهٔ عملکرد محصولات کشاورزی هستند (Somasundaram *et al*., 2020). در واقع، افزایش حجم تولید غذا و محصولات کشاورزی یکی از دلایل گرمایش جهانی و وقوع سایر رویدادهای منفی زیست‌محیطی می‌باشد. در کل، برای کاهش انتشار کربن دی‌اکسید، راه‌کارهایی از قبیل کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی (Stern *et al*., 2016)، توسعه سوخت‌های بدون کربن (Woo, 2019) و ذخیره‌سازی کربن در خاک (Lal, 2008) با کمک فرآیندهای طبیعی یا مصنوعی برای کاهش غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر و مقابله با تغییرات آب و هوایی مطرح می‌باشد که در میان، ذخیره‌سازی کربن در خاک از لحاظ هزینه و محیط‌زیست به ترتیب ارزان‌ترین و سازگارترین روش می‌باشد. علاوه‌بر آن، اتخاذ روش‌های نوین کوددهی محصولات کشاورزی به منظور کاهش هزینه مصرف کودهای شیمیایی، ممانعت از هدر رفت و آلودگی منابع طبیعی ضروری می‌باشد. یکی از این روش‌ها، کاربرد عمیق کود مایع است که در آن کود به طور مستقیم به درون خاک جهت تغذیهٔ ریشه‌های گیاهان تزریق می‌شود که در مقایسه با کوددهی سطحی خاک می‌تواند جذب عناصر غذایی به وسیلهٔ ریشه‌های گیاهان را بهبود بخشد و موجب کاهش اتلاف کود و آلودگی محیطی گردد (da Silva *et al*., 2017).

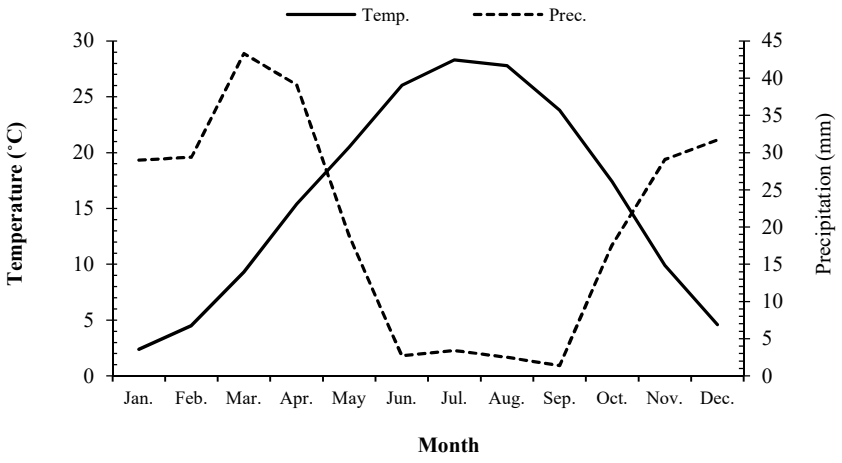
در تحقیقی، نوع مدیریت خاک (خاکورزی متداول و بی‌خاکورزی) به مدت پنج سال در یک باغ زیتون دارای خاک لومی شنی پایش شد. نتایج نشان داد که سطح مقطع تنه در درختان بخش بی‌خاکورزی ۲۳-۱۳٪ کم‌تر از درختان با مدیریت خاکورزی متداول بود. همچنین، عملکرد میوه و روغن در بی‌خاکورزی نسبت به خاکورزی متداول به ترتیب ۳۵ و ۳۱٪ کم‌تر بود. با این‌حال، کربن آلی، تخلخل خاک و نفوذپذیری آب در خاک با مدیریت بی‌خاکورزی نسبت به خاکورزی بیش‌تر بود (Gucci *et al*., 2012). در یک تحقیق سه ساله (۲۰۱۶-۲۰۱۸)، دو نوع سامانهٔ خاکورزی (خاکورزی متداول و بی‌خاکورزی) در یکی از تاکستان‌های شرق اسپانیا با شرایط اقلیمی نیمه‌خشک اجرا شد. با وجود این‌که در سال اول اجرای بی‌خاکورزی، تنش آبی درختان انگور تقلیل یافت امّا در مراحل پایانی اجرای این آزمایش تراکم خاک افزایش و نفوذپذیری آب در خاک کاهش پیدا کرد. ولی خاکورزی تأثیر ناچیزی در وضعیت تغذیه‌ای انگور داشت (Buesa *et al*., 2021). در مقابل، یافته‌های یک مطالعه در باغ مرکبات در اسپانیا نشان داد که استراتژی‌های مربوط به مدیریت خاکورزی متداول به طور واضح منجر به تخریب خاک به دلیل از بین رفتن مواد آلی، فشردگی و کاهش پایداری ساختاری خاک می‌شود (Di Prima *et al*., 2018). از این‌رو، تغییر مدیریت خاک از خاکورزی مرسوم به بی‌خاکورزی، نتایج مهمی را به دنبال دارد و برآیند آن در کوتاه مدت و دراز مدت یکسان نیست. در اغلب مواقع، بی-خاکورزی باعث افزایش ذخیرهٔ کربن آلی در خاک می‌شود. هر چند این مطلب چه از دیدگاه محیط زیست و چه از دیدگاه بهبود توان بارخیزی خاک مفید است، ولی در صورتی برای کشاورزان قابل‌توصیه است که با کاهش احتمالی محصول، به نحوی موثر مقابله شود. لذا در شرایط مختلف، باید اثرات منفی بی‌خاکورزی بر تولیدات کشاورزی

شناسایی و سپس با اعمال مدیریت‌های مناسب رفع شوند. متأسفانه، داده‌های آزمایشی در رابطه با اثر نوع مدیریت خاک باغ‌های میوه در داخل کشور و حتی در مقیاس جهانی کافی نیست و به همین دلیل، بررسی این موضوع ضروری می‌باشد. به دلیل این‌که تجزیه و تحلیل عناصر غذایی خاک و برگ به طور گسترده به عنوان یک روش مؤثر برای تشخیص کمبود عناصر غذایی در درختان میوه استفاده می‌شود و نتایج آن برای مدیریت صحیح مصرف کود مورد استفاده قرار می‌گیرد (Shunfeng *et al*., 2018). بنابراین، پژوهش حاضر، به منظور ارزیابی اثر نوع مدیریت خاک و نوع کوددهی باغ سیب در راستای دستیابی به افزایش کارآیی مصرف کود، رفع کمبود مواد مغذی در خاک و گیاه و کاهش هزینه تولید در دو مدیریت مختلف خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش سه ساله (۱۳۹۶، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸)، در یکی از باغ‌های سیب احداث‌شده در سال ۱۳۹۰ در شهرستان کرج واقع در استان البرز، دارای مدیریت خاکورزی مرسوم، انجام شد. از لحاظ موقعیت جغرافیایی، این باغ سیب در عرض جغرافیایی ″۳۰/۵ ′۵۲ °۳۵ شمالی و طول جغرافیایی ″۳۹/۶ ′۵۰ °۵۰ شرقی قرار دارد. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، این منطقه دارای آب و هوای سرد و خشک است. میانگین دمای سردترین (کمینه‌ها) و گرم‌ترین (بیشینه‌ها) ماه سال به ترتیب در ماه بهمن (۲/۹- درجهٔ سانتی‌گراد) و تیر (۳۴/۶ درجهٔ سانتی‌گراد) است. بر اساس اطلاعات ایستگاه سینوپتیک کرج، میانگین بارندگی ۳۳ ساله این منطقه تقریباً ۲۴۸ میلی‌متر است که مقدار ۱۷۳ میلی‌متر (۶۹/۸ ٪) از بارش‌ها در نیمهٔ اول سال زراعی (پائیز و زمستان) و میزان ۶۹/۹ میلی‌متر (۲۸/۱ ٪) از آن در سه ماههٔ سوم سال زراعی (فصل بهار) و بقیه ۵/۲ میلی‌متر (۲/۱ ٪) نیز در فصل تابستان رخ می‌دهد (شکل ۱).

قبل از اجرای آزمایش، مقدار برخی از عناصر مغذی خاک مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس، منگنز و بُر اندازه‌گیری شد (جدول ۱). خصوصیات آب از قبیل کربنات، بی‌کربنات، کلر، سولفات، آنیون‌ها، کلسیم، منیزیم، سدیم، کاتیون‌ها، کل مواد جامد محلول، درصد سدیم محلول، نسبت جذب سدیم، شوری و اسیدیته مورد آزمایش قرار گرفت (جدول ۲). با توجه به نتایج، کیفیت آب برای آبیاری باغ میوه‌های هسته‌دار و دانه‌دار مناسب ارزیابی شد. همچنین پس از اعمال تیمارهای خاکورزی و کوددهی در باغ سیب، سه نمونه خاک مرکب از اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ تهیه شد و سپس ویژگی‌هایی از قبیل آهک، مادهٔ آلی، ذرات خاک (رس، سیلت، شن،)، بافت خاک، اسیدیتهٔ خاک، هدایت الکتریکی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، پتاسیم، آهن، روی، مس، منگنز و بُر مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۳).



شکل ۱. میانگین دما و بارش ماهانهٔ از دورهٔ دراز مدت (۱۳۶۳-۱۳۹۶) در ایستگاه سینوپتیک کرج.

Figure 1. Average monthly temperature and precipitation from long-term (1985-2017) at Karaj synoptic station.

بر اساس نتایج، مقدار مادهٔ آلی در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر و میزان آهک (کلسیم کربنات) در محدودهٔ مناسب و هدایت الکتریکی (شوری) و اسیدیتهٔ خاک کمی بالاتر از حد مجاز بودند. مقدار نیتروژن در سه عمق مورد بررسی، از حد مجاز کم‌تر بود. امّا مقادیر فسفر، پتاسیم، روی، مس، منگنز و بر در بازهٔ مناسب قرار داشتند. بافت خاک نیز در کلاس بسیار سبک قرار داشت.

این آزمایش سه ساله به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. در این آزمایش، سال (زمان) به عنوان عامل اصلی بود. تیمارهای خاکورزی و کوددهی نیز به عنوان عوامل فرعی در نظر گرفته و هر سال در قسمت مربوط به آن‌ها اجرا شدند. به طوری که یک قسمت از باغ برای سامانهٔ خاکورزی مرسوم و قسمت دیگر برای سامانهٔ بی‌خاکورزی اختصاص یافت. هر کرت آزمایشی شامل یک درخت و بعد از آن یک درخت حاشیه بود. بر اساس اندازه و سن درختان، مقادیر مصرف تیمار کود کامل شیمیایی، اسید هیومیک و هیدروژل (سوپر جاذب) به ترتیب ۱۲۰، ۱۰۰ و ۳۰۰ گرم به ازای هر درخت تعیین شده بود (جدول ۴). در خاکورزی متداول، هیدروژل و کودها در عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک، قسمتی از سایه‌انداز درختان که آب آبیاری از طریق قطره‌چکان لوله‌ها جریان پیدا می‌کرد، اختلاط داده شد. در بی‌خاکورزی، تزریق هیدروژل و کودها با استفاده از دستگاه پنوماتیک در عمقی که بیش‌ترین حجم ریشه‌های فعال وجود داشته باشد، انجام گردید. برای تشخیص این عمق، قبل از اجرای تیمارها، گودالی در اطراف یکی از درختان باغ حفر و عمق بیش‌ترین پراکنش ریشه تعیین شد. مبارزه با علف‌های هرز بسته به شرایط باغ‌دار، به صورت مکانیکی و یا با استفاده از علف‌کش‌های شیمیایی بود. به منظور اجتناب از خطر احتمالی بروز آفات و بیماری‌های گیاهی به دنبال اعمال بی‌خاکورزی، اقدامات لازم طی مشورت با کارشناسان گیاه‌پزشکی انجام گردید و در طول دورهٔ آزمایش، مدیریت‌ها از جمله مبارزه با آفات و بیماری‌ها، آبیاری و امور دیگر به گونه‌ای یکسان برای تمامی درختان اعمال گردید.

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی برگ، نمونه‌های برگ در اوایل تیر ماه از برگ‌های شاخه‌های انتهای فصل جاری هر درخت تهیه شد. نمونه‌های ظرف مدت یک ساعت به آزمایشگاه منتقل و پس از شستشو و خشک شدن، میزان نیتروژن آن‌ها با دستگاه کجل‌دال تعیین گردید.

جدول ۱. نتایج تجزیه مواد مغذی خاک قبل از اجرای آزمایش.

Table 1. Soil nutrients analysis results before conducting experiment.

Element	N (tot.)	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	B
Unit	%					mg . kg^{-1}				
Optimum	1.9-2.6	0.14-0.4	1.5-2	1.2-1.6	0.25-0.4	50-300	20-100	6-50	25-100	25-50
Result	1.70	0.15	1.21	1.87	0.38	367.17	31.31	24.44	83.80	40.97

جدول ۲. نتایج تجزیه آب آبیاری قبل از اجرای آزمایش.

Table 2. Results of analysis of irrigation water before the experiment.

Experiment	CO_3	HCO_3	Cl	SO_4	Anions	Ca	Mg	Na	Cations	TDS	SSP	SAR	EC	pH	Class
Unit	mEq.L^{-1}									mg.L^{-1}	%	-	µS/m	-	-
Optimum	0	< 5	6≤	4-8	-	4-10	4-12.5	13-40	-	500-1000	-	6.5-12	< 2000	6.5-7.5	C_1S_1
Results	0	3.55	1.63	3.86	9.04	2.8	2	4.242	9.04	544.6	46.92	2.75	778	7.75	C_3S_1

CO_3: Carbonate; HCO_3: Bicarbonate; Cl: Chlorine; SO_4: Sulfate; Ca: Calcium; Mg: Magnesium; Na: Sodium; TDS: Total Dissolved Solids; SSP: Soluble Sodium Percent; SAR: Sodium Adsorption Ratio; EC: Electrical Conductivity; pH: Acidity or Basicity; Class: Suitability Class.

جدول ۳. نتایج اندازه‌گیری مواد مغذی خاک پس از اعمال تیمارهای خاکورزی و کوددهی در باغ سیب.

Table 3. Results of soil nutrient measurements after tillage and fertilization treatments in apple orchard.

Experiment		TNV	OC	Clay	Silt	Sand	Texture	pH	EC	Total N	P (ava.)	K	Fe	Zn	Cu	Mn	B
Unit		%					-		dS . m^{-1}	mg . kg^{-1}							
Optimum		7-15	2-2.5	25	25	50	Loam	6-7	< 2	2000	16	300	7	2	1	5	0.5
Depth	0-30	9.36	2.32	11	25	64	Sandy loam	7.47	3.42	1929.01	30.26	372.63	5.237	5.626	1.363	16.294	1
	30-60	10.27	1.27	15	17	68	Sandy loam	7.51	1.61	1162.94	22.64	273.07	3.546	2.046	0.870	8.480	0.52
	60-90	9.73	0.38	13	9	78	Sandy loam	7.69	2.59	799.76	10.18	201.38	2.539	0.698	0.600	3.687	0.40

TNV: Total Neutralizing Value of the limestone; OC: Organic Carbon.

جدول ۴. مشخصات و ترکیبات کود شیمیایی کامل، هیومیک و هیدروژل مورد استفاده در آزمایش.

Table 4. Characteristics and compositions of complete chemical, humic and hydrogel fertilizer used in the experiment.

Chemical Fert.	Element	Total N	NO_3^-	NH_3	Urea	P_2O_5	K_2O		Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo		
	Unit	%							ppm							
	Amount	20	7	2	11	20	20		1000	500	200	200	50	20		
Hydrogel	Ingredient	H_2O	Toxic.	PS	MS	EADW	NaCl EA	Pressure EA	60% EA	pH	Color		Form			
	Unit	%	$g.kg^{-1}$	µm	year	$g.g^{-1}$			minute	-	-		-			
	Amount	< 5	8.0	500-800	5-7	380	170	140	25-30	6-7	Light brown		Powder			
Humic Fert.	Ingredient	Humic acid	Fulvic acid	K_2O	H_2O	CEC	pH	Form								
	Unit	%				$mEq.100gr^{-1}$	-	-								
	Amount	70	5	10	12	300	6-7	Powder								

PS: Particle Size; MS: Maximum Stability in soil environment; EADW: Equilibrium Absorption of Distilled Water; NaCl EA: Practical capacity for adsorption of sodium chloride solution at a concentration of 1000 ppm; Pressure EA: Equilibrium Adsorption in Soil Environment and under Pressure of 2200 Pa: Time to Reach 60% of Maximum Equilibrium Absorption.

همچنین نمونه‌های گیاهی به روش خشک اکسید شده و غلظت عناصر نیتروژن (کجلدال)، فسفر و بُر (رنگ‌سنجی)، پتاسیم (نشر شعله‌ای)، آهن، منگنز، مس و روی (جذب اتمی) اندازه‌گیری شد (جدول ۵). در نهایت، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخهٔ ۹/۴ انجام شده و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند. نمودارهای حاصل از مقایسه میانگین نیز با استفاده از نرم افزار اکسل نسخهٔ ۲۰۱۹ ترسیم شدند.

نتایج و بحث

غلظت عناصر برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس منابع تغییر این آزمایش (جدول ۶)، اثر ساده عامل سال بر عناصری مثل پتاسیم (در سطح احتمال ۵٪)، آهن، روی و مس (در سطح احتمال ۱٪) موجود در برگ معنی‌دار بود در حالی که اثرات ساده عامل خاک‌ورزی و عامل کود تنها روی عنصر فسفر موجود در برگ در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ معنی‌دار بودند. اثر متقابل دوگانه عامل خاک‌ورزی و عامل کود روی عناصر نیتروژن و مس برگ در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شدند. اثر متقابل دوگانه عامل خاک‌ورزی و عامل سال و همچنین اثر متقابل دوگانه عامل کود و عامل سال فقط روی عنصر فسفر در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بودند. اثر متقابل سه‌گانه سال، خاک‌ورزی و کود نیز تنها روی عنصر مس برگ در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود.

غلظت نیتروژن برگ

طبق نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف عامل خاک‌ورزی و کود بر نیتروژن برگ، بیش‌ترین درصد نیتروژن برگ (۲٪/۷۴) در تیمار بدون‌خاک‌ورزی × هیدروژل و کم‌ترین درصد نیتروژن برگ (۲٪/۱۴) نیز در تیمار خاک‌ورزی متداول × هیدروژل مشاهده شد (شکل ۲). با توجه به این‌که هیدروژل‌ها در خاک به عنوان جاذب و نگه‌دارندهٔ رطوبت عمل می‌کنند، برای همین، کاربرد آن‌ها موجب افزایش رطوبت حجمی اشباع (درصد حجمی آب) در خاک می‌شود که متعاقب آن، رطوبت قابل‌استفاده در ناحیهٔ ریشه نیز افزایش می‌یابد (Ghobashy, 2020). از طرف دیگر، کاربرد هیدروژل‌ها منجر به کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک (نسبت وزن به حجم) و هدایت الکتریکی (EC) در خاک می‌شوند. در نتیجه، کاربرد هیدروژل تحت شرایط بدون‌خاک‌ورزی موجب افزایش فراهمی عناصر غذایی مانند نیتروژن در محلول خاک می‌شود. امّا، تخریب ساختمان خاک و تجزیه سریع مواد آلی در خاک‌ورزی متداول احتمالاً اثرات مثبت هیدروژل را خنثی می‌کند. در حالی‌که هیدروژل و دیگر اصلاح‌کنندهٔ خاک در سیستم بدون‌خاک‌ورزی، علاوه‌بر حفظ فعالیت میکروارگانیسم‌ها موجب رهاسازی تدریجی عناصر غذایی می‌شود (Ghobashy, 2020).

غلظت فسفر برگ

بر اساس مقایسه میانگین انجام‌شده بین اثر متقابل سال و خاک‌ورزی روی درصد عنصر فسفر در برگ مشاهده شد که بیش‌ترین درصد فسفر برگ (۰/۲۲٪) متعلق به تیمار خاک‌ورزی مرسوم در سال ۱۳۹۸ بود در حالی‌که کم‌ترین درصد صفت درصد فسفر برگ

(۰/۱۸٪) متعلق به تیمار بدون‌خاک‌ورزی در سال ۱۳۹۸ بود (شکل ۳). در رابطه با اثر متقابل دوگانه، بیش‌ترین درصد فسفر برگ (۰/۲۴۴٪) متعلق به اثر تیمار کود کامل در سال ۱۳۹۷ بود و کم‌ترین درصد فسفر برگ (۰/۱۳۴٪) متعلق به اثر تیمار عدم‌دریافت کود یا شاهد در سال ۱۳۹۸ بود (شکل ۴). همچنین، در مطالعه‌ای افزایش مقادیر آهن و روی قابل‌دسترس موجب افزایش عملکرد، کیفیت و غلظت عناصر غذایی برگ و میوه سیب رقم گالا شد (Sadeghi *et al*., 2021).

به نظر می‌رسد که به هم‌خوردگی و آشفتگی خاک در سامانهٔ خاک‌ورزی مرسوم، فسفر قابل‌جذب در محلول خاک و به دنبال آن قابلیت دسترسی ریشهٔ درختان به این عنصر پُرمصرف را در یک دورهٔ زمانی کوتاه افزایش می‌دهد. صرف‌نظر از نوع مدیریت خاک، فرآیند معدنی‌شدن عناصر موجود در ساختار بقایای آلی تحت شرایط تهویه‌ای مطلوب توسط آنزیم‌های فسفومونواستراز به آسانی انجام می‌گیرد (Xiaozhu *et al*., 2016). به عبارت دیگر در شرایط بدون‌خاک‌ورزی، تراکم خاک روی برخی ویژگی‌های خاک تأثیر منفی بر جای می‌گذارد.

جدول ۵. دستگاه (مدل و کشور سازنده) اندازه‌گیری عناصر غذایی در برگ درختان سیب.

Table 5. Instrument (model and country of manufacture) for measuring nutrients in apple tree leaves.

Nutrient	Analyzing method	Measuring instrument	Made in
N	Kjeldahl digestion	Foss Kjeltec 2300 Analyzer	Sweden
P & B	Colorimetric determination	Spectrophotometer Novaspec II	Belgium
K & Ca	Photoelectric circuitry	Flame Photometer Kornic 410	England
Micronutrients	Atomic absorption spectroscopy	Atomic Absorption Spectrophotometer AA 10	Australia

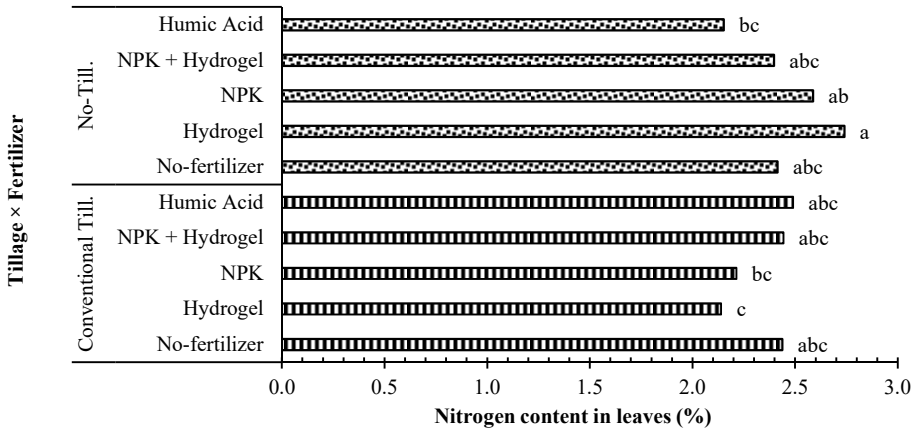
جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس اثر زمان، خاک‌ورزی و کود بر محتوای برخی عناصر مغذی در برگ سیب.

Table 6. Results of variance analysis effect of time, tillage and fertilizer on some nutrients content in apple leaf.

Source of variation	df	Mean of squares							
		N	P	K	Ca	Fe	Zn	Cu	Mn
Year	1	0.11 ^{ns}	0.01 ^{ns}	2.12 *	2.37 ^{ns}	415316.8 **	2009.73 **	8574.76 **	2465.12 ^{ns}
Error a	8	0.502	0.007	0.253	0.681	5494.783	52.583	66.579	1215.216
Tillage	1	0.321 ^{ns}	0.011 *	0.08 ^{ns}	0.02 ^{ns}	208.803 ^{ns}	1.061 ^{ns}	3.24 ^{ns}	764.52 ^{ns}
Fertilizer	4	0.045 ^{ns}	0.01 **	0.68 ^{ns}	0.23 ^{ns}	3125.769 ^{ns}	1.904 ^{ns}	44.716 ^{ns}	689.19 ^{ns}
Tillage × fertilizer	4	0.690 *	0.001 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.06 ^{ns}	895.509 ^{ns}	4.728 ^{ns}	209.946 *	493.62 ^{ns}
Year × tillage	1	0.181 ^{ns}	0.013 *	0.46 ^{ns}	0.18 ^{ns}	267.323 ^{ns}	32.149 ^{ns}	0.001 ^{ns}	607.623 ^{ns}
Year × fertilizer	4	0.191 ^{ns}	0.007 *	0.13 ^{ns}	0.21 ^{ns}	2353.589 ^{ns}	8.584 ^{ns}	229.565 ^{ns}	222.866 ^{ns}
Year × tillage × fertilizer	4	0.479 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.146 ^{ns}	0.1 ^{ns}	3307.329 ^{ns}	8.981 ^{ns}	796.725 *	329.22 ^{ns}
Error b	72	0.245	0.003	0.345	0.114	2218.189	18.06	70.854	351.43
C.V. (%)	-	20.63	24.2	29.36	25.91	۲۶/۵۷	30.39	30.01	26.94

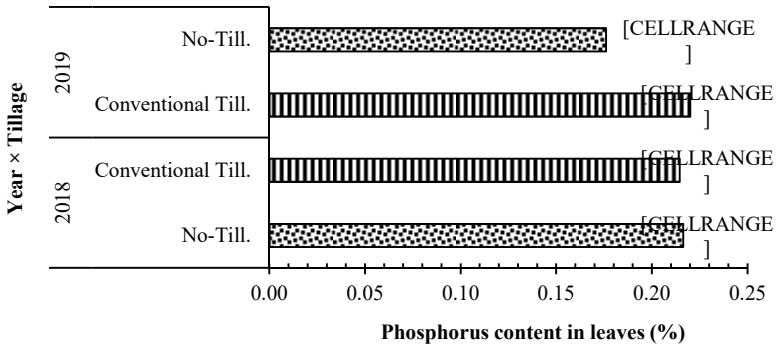
ns، * و **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ ٪.

ns, *, **: Non-significantly difference, significantly difference at 5% and 1% of probability level, respectively.



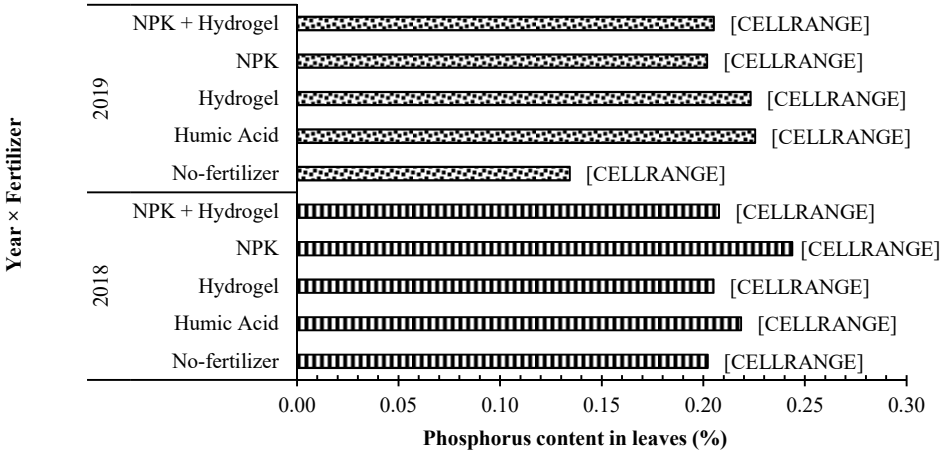
شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل خاکورزی و کود بر درصد نیتروژن برگ سیب.

Figure 2. Mean comparison interaction of tillage and fertilizer on nitrogen percentage in apple leaf.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل سال و خاکورزی بر درصد فسفر در برگ سیب.

Figure 3. Mean comparison interaction of year and tillage on phosphorus percentage in apple leaf.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل سال و کود بر درصد فسفر در برگ سیب.

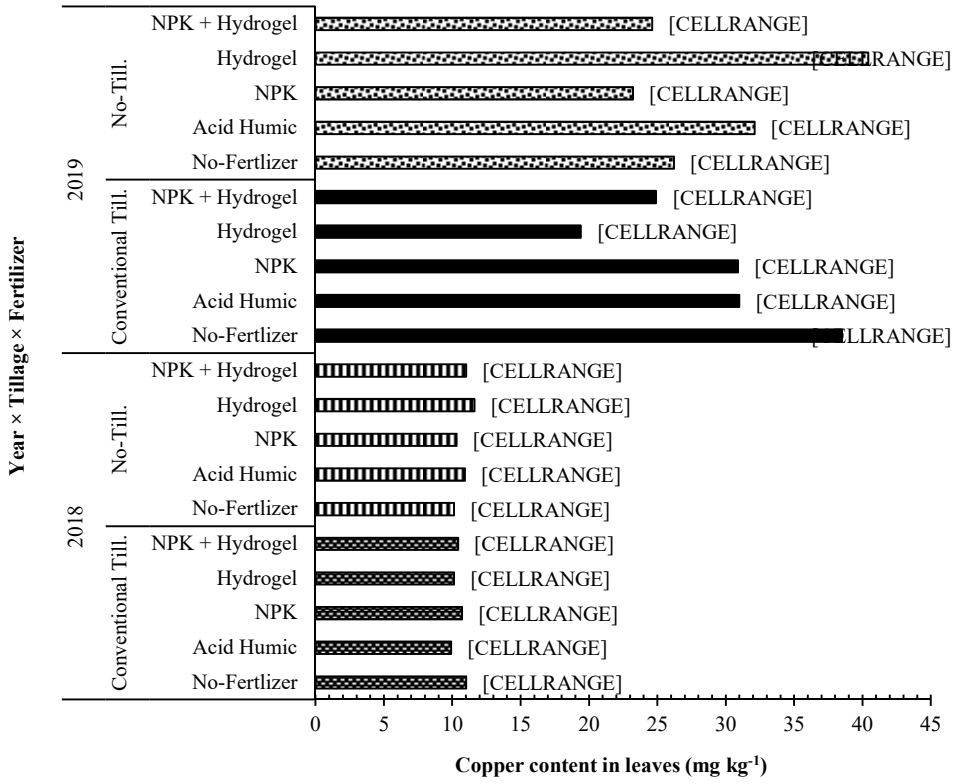
Figure 4. Mean comparison interaction of year and fertilizer on phosphorus percentage in apple leaf.

غلظت مس برگ

بر اساس مقایسه میانگین انجام‌شده برای صفت مقدار مس برگ، بیش‌ترین مقدار مس برگ (۴۰/۴ میلی‌گرم/کیلوگرم) متعلق به تیمار ترکیبی هیدروژل × بدون‌خاک‌ورزی در سال ۱۳۹۸ بود. همچنین، کم‌ترین غلظت مس برگ (۹/۹ میلی‌گرم/کیلوگرم) متعلق به تیمار ترکیبی اسید هیومیک × خاک‌ورزی مرسوم در سال ۱۳۹۷ بود (شکل ۵). قابلیت دسترسی ریشه گیاهان به عنصر مس در خاک‌هایی با تهویهٔ مناسب و مقدار رطوبت متوسط بیش‌تر است در حالی‌که، محتوای مس در برگ گیاهان در زمانی که خاک خیلی خشک یا خیلی مرطوب باشد، کم‌تر دیده می‌شود (Merwin & Stiles, 1994). با این‌حال، در تحقیقات دیگر عنوان شده است که قابلیت دسترسی عناصر ریزمغذی مس و روی تحت تأثیر نوع خاک‌ورزی قرار نمی‌گیرد (Hickman, 2002). از طرف دیگر، یافته‌های سایر پژوهشگران نیز نشان می‌دهد که کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار به طور معنی‌داری موجب کاهش قابلیت دسترسی ریشه گیاهان به برخی ریزمغذی‌ها به ویژه مس در محلول خاک می‌شود (Shiwakoti *et al*., 2019). به طور کلی، در خاک‌های آهکی مانند منطقه کرج، بالا بودن میزان pH، مواد آلی کم و تداوم مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی منجر به کمبود برخی از عناصر ریزمغذی در خاک می‌شود (Askari Sarchemeh *et al*., 2017).

شاخص‌های فتوسنتزی برگ

داده‌های مربوط به پارامترهای فتوسنتزی موجود در آزمایش حاضر مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند (جدول ۷).



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل سال، خاک‌ورزی و کود بر غلظت مس در برگ سیب.

Figure 5. Mean comparison of interaction of year, tillage and fertilizer on copper concentration in apple leaf.

اثر سادهٔ عامل سال بر صفات هدایت روزنه‌ای کربن دی‌اکسید، شدت تعرق و نرخ فتوسنتز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر سادهٔ عامل خاک‌ورزی روی صفت کربن دی‌اکسید اتاقک زیر روزنه و نرخ فتوسنتز (در سطح احتمال ۱٪) و روی صفت هدایت روزنه‌ای کربن دی‌اکسید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر سادهٔ عامل کود تنها بر صفت شدت تعرق در سطح احتمال یک درصد قابل‌توجه و معنی‌دار بود. در رابطه با اثرات دوگانه عامل‌ها، تأثیر خاک‌ورزی× کود روی صفت کربن دی‌اکسید اتاقک زیر روزنه و شدت تعرق در سطح احتمال یک درصد تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای داشت. اثر متقابل دوگانه خاک‌ورزی و سال نیز تنها بر صفت شدت تعرق در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و در نهایت، اثر متقابل دوگانه کود و سال روی صفت هدایت روزنه‌ای کربن دی‌اکسید در سطح احتمال یک درصد و بر صفت شدت تعرق در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد. در رابطه با اثر متقابل سه‌گانه می‌توان گفت که اثر متقابل عامل خاک‌ورزی × کود × سال بر هیچ یک از پارامترهای فتوسنتزی معنی‌دار نبود.

کربن دی‌اکسید اتاقک زیر روزنه

مقایسه میانگین غلظت کربن دی‌اکسید در اتاقک زیر روزنه تحت تأثیر تیمار خاک‌ورزی × کود نشان داد که بیش‌ترین مقدار کربن دی‌اکسید اتاقک زیر روزنه (۲۶۰/۲۲ پی‌پی‌ام) متعلق به تیمار بدون‌خاک‌ورزی × کود کامل به اضافه هیدروژل بود. کم‌ترین مقدار پارامتر کربن دی‌اکسید اتاقک زیر روزنه (۲۱۸/۵۶) نیز تحت تأثیر تیمار خاک‌ورزی مرسوم× کود کامل به اضافه هیدروژل حاصل شد (شکل ۶). هیدروژل‌ها ساختمان خاک را بهبود می‌بخشند و موجب حفظ طولانی‌مدت مقداری از آب آبیاری در محیط اطراف ریشه گیاه می‌شوند که در نتیجهٔ آن، گیاه دچار تنش آبی نمی‌گردد و متعاقب آن، شرایط مطلوب برای انجام فرآیندهای فتوسنتزی میسّر می‌گردد (Tomášková *et al*., 2020).

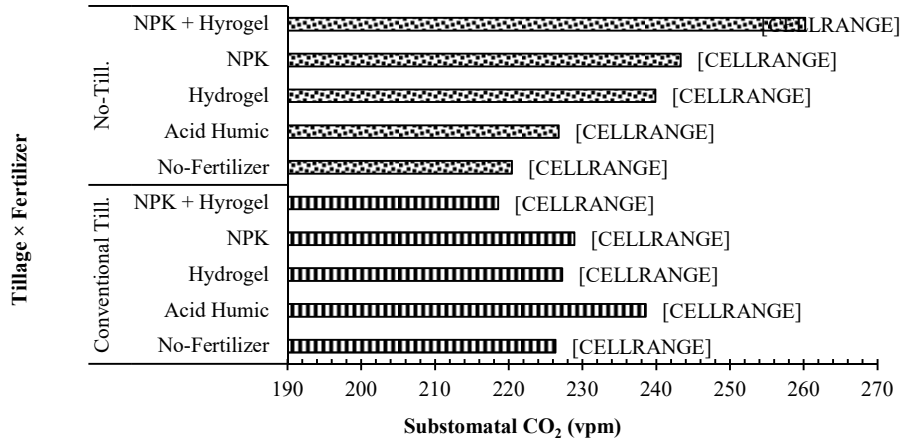
جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس اثر زمان، خاک‌ورزی و کود بر برخی از پارامترهای فتوسنتزی در برگ سیب.

Table 7. Results of variance analysis effect of time, tillage and fertilizer effect on some photosynthetic parameters in apple leaf.

Source of variation	df	Mean of squares			
		Substomatal CO_2	Stomatal Conductance CO_2	Transpiration Rate	Photosynthesis Rate
Year	2	51.144 ^{ns}	0.088 **	11.494 **	315.303 **
Error a	6	400.978	0.002	0.563	4.917
Tillage	1	2351.111 *	0.014 **	1.974 ^{ns}	29.699 *
Fertilizer	4	644.794 ^{ns}	0.001 ^{ns}	3.006 **	4.306 ^{ns}
Tillage × fertilizer	4	1975.639 **	0.002 ^{ns}	3.404 **	10.645 ^{ns}
Year × tillage	2	378.211 ^{ns}	0.004 ^{ns}	1.815 *	11.829 ^{ns}
Year × fertilizer	8	498.478 ^{ns}	0.006 **	1.586 *	7.309 ^{ns}
Year × tillage × fertilizer	8	442.822 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.881 ^{ns}	4.783 ^{ns}
Error b	54	675.595	0.002	0.560	4.545
C.V. (%)	-	8.98	30.08	18.26	22.82

ns، * و **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **: Non-significantly difference, significantly difference at 5% and 1% of probability level, respectively.



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل خاک‌ورزی و کود بر غلظت کربن دی‌اکسید اتاقک زیر روزنه در برگ سیب.

Figure 6. Mean comparison interaction of tillage and fertilizer on substomatal CO_2 concentration in apple leaf.

در واقع، سلول‌های نگهبان روزنه در برگ با انتقال فعال، یون‌های پتاسیم را از سلول‌های روپوستی مجاور می‌گیرند و با ایجاد فشار اسمزی باعث جذب آب (به درون سلول‌های نگهبان) می‌شوند. به دنبال جذب آب، سلول‌های نگهبان روزنه دچار تورژسانس شده و رشد طولی پیدا می‌کنند. بنابراین دو سلول نگهبان مجاور خمیده شده و منفذ بین آن‌ها باز می‌شود و گیاه می‌تواند آب اضافی خود را خارج و گازهای تنفسی تبادل کند.

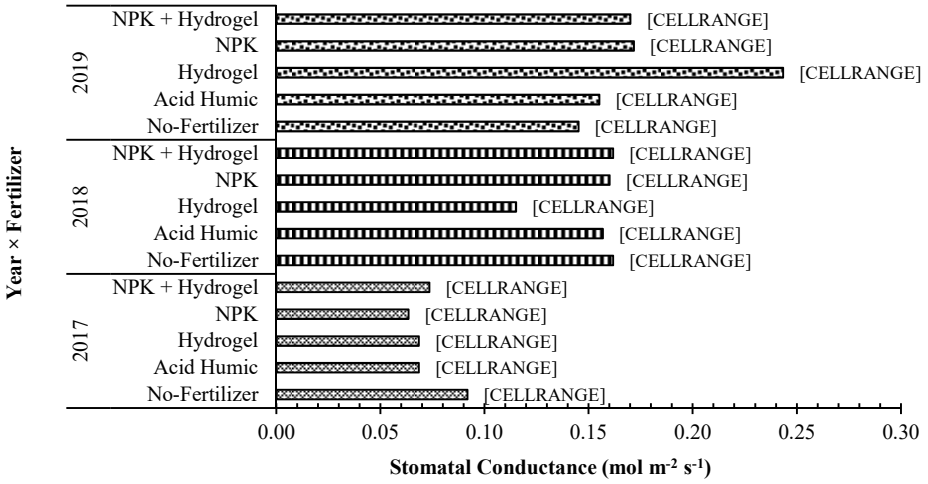
شدت هدایت روزنه‌ای برگ

بر اساس مقایسه میانگین پارامتر شدت هدایت روزنه‌ای برگ تحت تأثیر سطوح عامل سال× کود مشخص گردید که بیش‌ترین مقدار هدایت روزنه‌ای برگ (۰/۲۴۳ مول در متر مربع در ثانیه) متعلق به اعمال هیدروژل در سال ۱۳۹۸ و کم‌ترین مقدار هدایت روزنه‌ای برگ (۰/۰۶۳ مول در متر مربع در ثانیه) تحت تأثیر کود کامل در سال ۱۳۹۶ بوده است (شکل ۷). هیدروژل‌ها به دلیل ایجاد ظرفیت بالای جذب آب و به دنبال آن، حفظ رطوبت در خاک به مدت طولانی و افزایش قابلیت دسترسی به مواد مغذی موجب تداوم تورژسانس سلول‌های نگهبان روزنه شده و در نتیجه آن، تبادل کربن دی‌اکسید و آب بین برگ و محیط بیرون با شدت بیش‌تر انجام می‌گردد. نتایج مطالعات دیگر در رابطه با اثر هیدروژل‌ها به عنوان اصلاح‌کننده‌های خاک بر ویژگی‌های خاک و مرکبات نیز یافته‌های تحقیق حاضر را تأیید می‌کند (Nissi *et al*., 2021). علاوه‌بر آن، وفور آب در محیط ریشه از بروز تنش خشکی و به دنبال آن، از تجمع هورمون اسید آبسیزیک در سلول‌های برگ درخت ممانعت می‌کند. برای همین، روزنه‌های برگ در حالت فعال باقی می‌ماند که در نتیجهٔ

آن، بین برگ و محیط پیرامون تبادل گازهای کربن دی‌اکسید و آب ادامه می‌یابد (Belfiore *et al*., 2021).

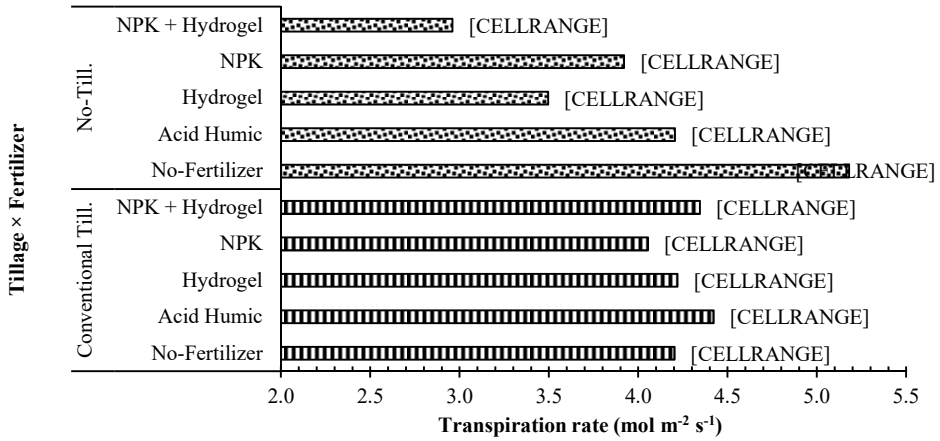
شدت تعرق برگ

مقایسه میانگین پارامتر شدت تعرق برگ سیب تحت تأثیر تیمار ترکیبی خاک‌ورزی× کود، سال× خاک‌ورزی، سال× کود که در جدول تجزیه واریانس از لحاظ آماری معنی‌داری بودند، انجام شد. در اثر متقابل عامل خاک‌ورزی و کود، بیش‌ترین شدت تعرق در برگ سیب (۵/۱۸ مول در متر مربع در ثانیه) تحت تأثیر تیمار عدم‌دریافت کود یا شاهد در سیستم بدون‌خاک‌ورزی و کم‌ترین شدت تعرق در برگ سیب (۲/۹۶ مول در متر مربع در ثانیه) تحت تأثیر تیمار کود کامل به همراه هیدروژل در سیستم بدون‌خاک‌ورزی مشاهده شد (شکل ۸). در اثر متقابل عامل سال و خاک‌ورزی، بیش‌ترین (۴/۹۱ مول در متر مربع در ثانیه) و کم‌ترین (۳/۲۸ مول در متر مربع در ثانیه) شدت تعرق برگ به ترتیب در تیمار خاک‌ورزی متداول در سال ۱۳۹۷ و خاک‌ورزی متداول در سال ۱۳۹۶ مشاهده گردید (شکل ۹). در اثر متقابل عامل سال و کود، بیش‌ترین (۵/۳۱ مول در متر مربع در ثانیه) و کم‌ترین (۲/۹۶ مول در متر مربع در ثانیه) شدت تعرق در برگ سیب به ترتیب تحت تأثیر تیمار عدم‌دریافت کود (شاهد) در سال ۱۳۹۷ و کاربرد هیدروژل در سال ۱۳۹۶ بود (شکل ۱۰).



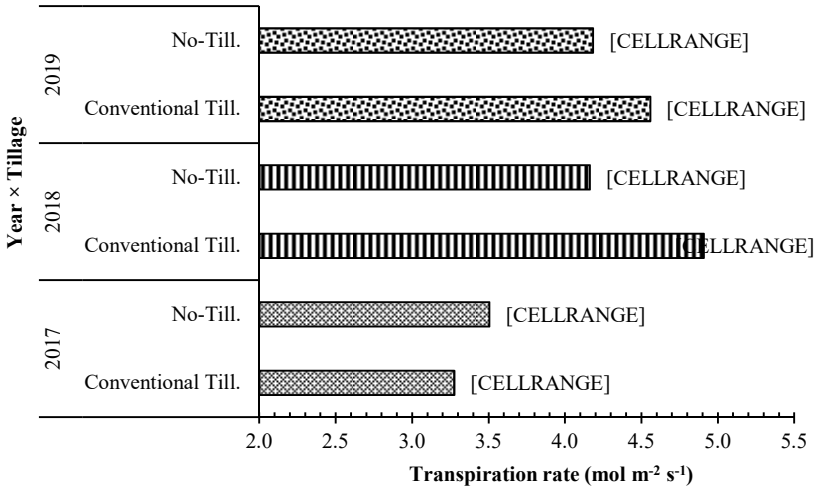
شکل ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل زمان و کود بر مقدار هدایت روزنه‌ای کربن دی‌اکسید در برگ سیب.

Figure 7. Mean comparison of interaction of time and fertilizer on stomatal conductance of CO_2 in apple leaf.

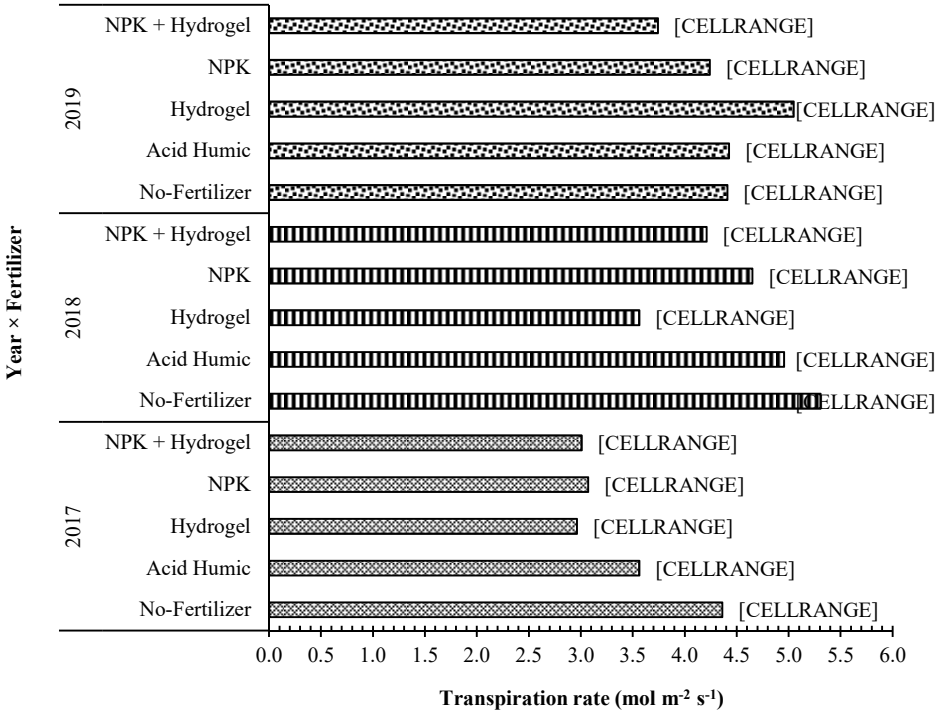


شکل ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل خاکورزی و کود بر شدت تعرق در برگ سیب.

Figure 8. Mean comparison of interaction of tillage and fertilizer on transpiration intensity in apple leaf.



شکل ۹. مقایسه میانگین اثر متقابل سال و خاکورزی بر شدت تعرق در برگ سیب.
Figure 9. Mean comparison of interaction of year and tillage on transpiration intensity in apple leaf.



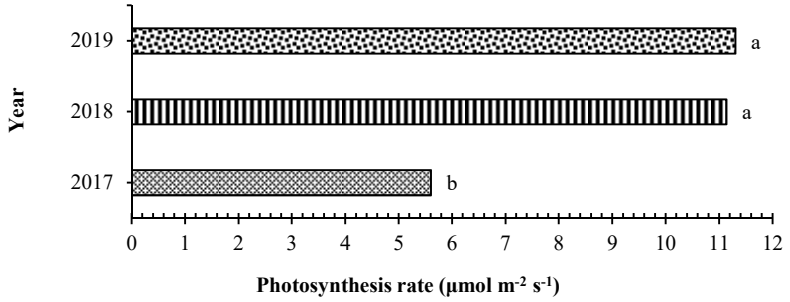
شکل ۱۰. مقایسه میانگین اثر متقابل سال و کود بر شدت تعرق در برگ سیب.
Figure 10. Mean comparison of interaction of year and fertilizer on transpiration intensity in apple leaf.

مصرف کود کامل به دلیل افزایش شیب پتانسیل آب بین خاک و برگ به همراه کاربرد هیدروژل در خاک موجب افزایش رطوبت و فراهمی مواد مغذی در محیط ریشه و متعاقب آن باعث افزایش فعالیت روزنه‌ها و اتلاف آب از طریق تعرق می‌گردد. همچنین، مجموع شدت تعرق در گیاه از طریق افزایش سطح سبز گیاه نیز بیش‌تر می‌شود. در تحقیقی گزارش شد که کاربرد هیدروژل در نهال‌های گواوا (زیتون محلی) هیچ تأثیری بر مصرف آب روزانهٔ نهال‌ها نداشت، اما ظرفیت نگهداری آب در خاک، آب قابل‌دسترس گیاه،

رشد و زنده‌مانی نهال‌ها را افزایش داد (Abdallah, 2019). برخلاف آن، در تحقیق دیگری عنوان شد که هیدروژل استفاده‌شده برای چند گونهٔ درختی موجب کاهش تعرق گیاه و تبخیر از خاک گردید که دلیل آن احتمالاً کاهش هدایت هیدرولیکی خاک می‌باشد (Agaba *et al*., 2010).

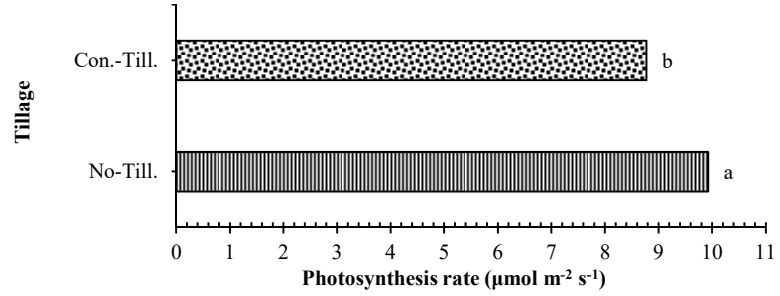
نرخ فتوسنتز

مقایسه میانگین برای خصوصیت نرخ فتوسنتز برگ تحت تأثیر تیمار سال و خاکورزی انجام شد و نشان داد که در رابطه با عامل سادهٔ سال، بیش‌ترین (۱۱/۳۰ میکرو مول بر متر مربع بر ثانیه) و کم‌ترین (۵/۶۰ میکرو مول بر متر مربع بر ثانیه) نرخ فتوسنتز در برگ سیب به ترتیب در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۷ به دست آمد (شکل ۱۱) و در رابطه با عامل سادهٔ خاکورزی، بیش‌ترین (۹/۹۲ میکرو مول بر متر مربع بر ثانیه) و کم‌ترین (۸/۷۷ میکرو مول بر متر مربع بر ثانیه) نرخ فتوسنتز در برگ سیب به ترتیب در بی‌خاکورزی و خاکورزی متداول حاصل شد (شکل ۱۲). روند افزایشی نرخ فتوسنتز از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ میلادی (سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ شمسی)، نشانگر بهبود شرایط فتوسنتز بوده است. احتمالاً، وضعیت اقلیمی مناسب در آن بازهٔ زمانی یکی از دلایل این رویداد می‌باشد. همچنین، اجرای بی‌خاکورزی می‌تواند به مرور زمان مزایای خود را نشان دهد. یافته‌های تحقیقی نشان داد که در شرایط بی‌خاکورزی، وجود بقایای گیاهی در کف باغ سیب با تأثیر مستقیم بر رطوبت و دمای خاک، ریز اقلیم خاک را بهبود می‌بخشد. زیرا، مالچ گیاهی از برخورد مستقیم نور خورشید ممانعت می‌کند و موجب کاهش دمای خاک و تبخیر آب می‌شود و به دنبال آن، باعث تأخیر در فرآیند گل‌دهی نیز می‌شود. از طرف دیگر، بقایای گیاهی از اُفت فتوسنتز برگ در اواسط روز جلوگیری می‌کند. برای همین، آبیاری در زمین دارای مالچ گیاهی عملکرد را نسبت به شاهد افزایش می‌دهد (Liao *et al*., 2021). نتایج تحقیق دیگر با هدف مقایسهٔ پارامترهای فتوسنتزی باغ مرکبات تحت تأثیر دو نوع بی‌خاکورزی نیز با یافته‌های این تحقیق مطابقت داشت (Chen *et al*., 2021).



شکل ۱۱. مقایسه میانگین اثر سال بر نرخ فتوسنتز در برگ سیب.

Figure 11. Mean comparison effect of year on photosynthesis rate in apple leaf.



شکل ۱۲. مقایسه میانگین اثر خاکورزی بر نرخ فتوسنتز در برگ سیب.

Figure 12. Mean comparison effect of tillage on photosynthesis rate in apple leaf.

نتیجه‌گیری کلی

شناسایی تغذیهٔ مؤثر درختان میوه با کم‌ترین نهاده می‌تواند کمک قابل‌توجهی در مصرف بهینهٔ کودهای شیمیایی و کاهش هزینه‌ها داشته باشد. از طرف دیگر، نوع مدیریت خاک نیز نقش غیرقابل انکاری در قابلیت دسترسی ریشه‌های درختان و گیاهان دیگر به مواد مغذی ایفا می‌کند. در این تحقیق مشخص شد که قابلیت جذب برخی از مواد مغذی مانند فسفر و ریزمغذی‌ها در شرایط خاک‌ورزی متداول و کاربرد اصلاح‌کننده‌های (سوپر جاذب‌ها) خاک افزایش می‌یابد. با این وجود، این‌طور به نظر می‌رسد که در کوتاه مدت اثرات مثبت اجرای سامانه بی‌خاکورزی در باغ میوه قابل‌دستیابی نمی‌باشند و به همین دلیل، سپری شدن مرحلهٔ گذار از سامانهٔ خاکورزی متداول به بی‌خاکورزی یک ضرورت محسوب می‌شود.

REFERENCES

1. Abdallah, A. M. (2019). The effect of hydrogel particle size on water retention properties and availability under water stress. *International Soil and Water Conservation Research*, *7*(3), 275-285.
2. Agaba, H., Baguma Orikiriza, L. J., Osoto Esegu, J. F., Obua, J., Kabasa, J. D., & Hüttermann, A. (2010). Effects of hydrogel amendment to different soils on plant available water and survival of trees under drought conditions. *Clean–Soil, Air, Water*, *38*(4), 328-335.
3. Askari Sarcheshmeh, M. A., Karbasi, M., Babalar, M., Talaie, A., & Aghajany, S. (2019). Effect of foliar application of iron and zinc on some quantitative and qualitative attributes of apple fruit 'Delbar estival'. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *50*(2), 265-274. (in Farsi).
4. Belfiore, N., Nerva, L., Fasolini, R., Gaiotti, F., Lovat, L., & Chitarra, W. (2021). Leaf gas exchange and abscisic acid in leaves of Glera grape variety during drought and recovery. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, *33*, 261–270.
5. Brite, E. B. (2021). The origins of the apple in central asia. *Journal of World Prehistory*, 1-35.
6. Buesa, I., Miras-Ávalos, J. M., De-Paz, J. M., Visconti, F., Sanz, F., Yeves, A., Guerra, D., & Intrigliolo, D. S. (2021). Soil management in semi-arid vineyards: combined effects of organic mulching and no-tillage under different water regimes. *European Journal of Agronomy*, (123), 126198-126198.
7. Chen, C. I., Lin, K. H., Huang, M. Y., Yang, C. K., Lin, Y. H., Hsueh, M. L., Lee, L. H., & Wang, C. W. (2021). Photosynthetic physiology comparisons between no tillage and sod culture of citrus farming in different seasons under various light intensities. *Agronomy*, *11*(9), 1805-1819.
8. da Silva, M. J., Franco, H. C. J., & Magalhães, P. S. G. (2017). Liquid fertilizer application to ratoon cane using a soil punching method. *Soil and Tillage Research*, *165*, 279-285.
9. Di Prima, S., Rodrigo-Comino, J., Novara, A., Iovino, M., Pirastru, M., Keesstra, S., & Cerdà, A. (2018). Soil physical quality of citrus orchards under tillage, herbicide, and organic managements. *Pedosphere*, *28*(3), 463-477.
10. Ghobashy, M. M. (2020). The application of natural polymer-based hydrogels for agriculture. In *Hydrogels Based on Natural Polymers* (pp. 329-356). Elsevier.
11. Gucci, R., Caruso, G., Bertolla, C., Urbani, S., Taticchi, A., Esposto, S., Servili, M., Sifola, M. I., Pellegrini, S., Pagliai, M., & Vignozzi, N. (2012). Changes of soil properties and tree performance induced by soil management in a high-density olive orchard. *European Journal of Agronomy*, *41*, 18-27.
12. Hickman, M. V. (2002). Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical and mineral properties. *Journal of Plant Nutrition*, *25*(7), 1457-1470.
13. Lal, R. (2008). Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *363*(1492), 815-830.
14. Liao, Y., Cao, H. X., Xue, W. K., & Liu, X. (2021). Effects of the combination of mulching and deficit irrigation on the soil water and heat, growth and productivity of apples. *Agricultural Water Management*, *243*, 106482.
15. Merwin, I. A., & Stiles, W. C. (1994). Orchard groundcover management impacts on apple tree growth and yield, and nutrient availability and uptake. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *119*(2), 209-215.
16. Nissi, F. G., Rajashekaram, T., Lakshmi, M. L., Swami, D. V., Krishna, U. K., & Salomi, D. R. (2021). Effect of soil conditioners on soil, physiological and photosynthetic parameters of sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). *The Pharma Innovation, 10*(5): 587-593.

17. Sadeghi, E., Babalar, M., & Talaie, A. (2021). Effect of foliar application of iron and zinc on yield, quality and leaf and fruit nutrients concentrations of apple (Malus domestica cv. Gala). *Iranian Journal of Horticultural Science*, *51*(4), 965-978. (in Farsi).
18. Shiwakoti, S., Zheljazkov, V. D., Gollany, H. T., Kleber, M., & Xing, B. (2019). Micronutrients decline under long-term tillage and nitrogen fertilization. *Scientific Reports*, *9*(1), 1-9.
19. Shunfeng, G. E., Zhanling, Z. H. U., Ling, P. E. N. G., Qian, C. H. E. N., & Jiang, Y. (2018). Soil nutrient status and leaf nutrient diagnosis in the main apple producing regions in China. *Horticultural Plant Journal*, *4*(3), 89-93.
20. Somasundaram, J., Sinha, N. K., Dalal, R. C., Lal, R., Mohanty, M., Naorem, A. K., Hati, K. M., & Chaudhari, S. K. (2020). No-till farming and conservation agriculture in South Asia–issues, challenges, prospects and benefits. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *39*(3), 236-279.
21. Stern, P. C., Janda, K. B., Brown, M. A., Steg, L., Vine, E. L., & Lutzenhiser, L. (2016). Opportunities and insights for reducing fossil fuel consumption by households and organizations. *Nature Energy*, *1*(5), 1-6.
22. Tomášková, I., Svatoš, M., Macků, J., Vanická, H., Resnerová, K., Čepl, J., Holuša, J., Hosseini, S. M., & Dohrenbusch, A. (2020). Effect of different soil treatments with hydrogel on the performance of drought-sensitive and tolerant tree species in a semi-arid region. *Forests*, *11*(2), 211.
23. Wang, Y., Li, W., Xu, X., Qiu, C., Wu, T., Wei, Q., Ma, F., & Han, Z. (2019). Progress of apple rootstock breeding and its use. *Horticultural Plant Journal*, *5*(5), 183-191.
24. Woo, T. H. (2019). Global warming analysis for greenhouse gases impacts comparable to carbon-free nuclear energy using neuro-fuzzy algorithm. *International Journal of Global Warming*, *17*(2), 219-233.
25. Xiaozhu, Y. A. N. G., Zhuang, L. I., & Cheng, C. (2016). Effect of conservation tillage practices on soil phosphorus nutrition in an apple orchard. *Horticultural Plant Journal*, *2*(6), 331-337.