# Effect of Rooting and Canopy of Pistachio Trees with Different Ages on Some Soil Properties in Robat Plain

**E. Amini, N. Yaghmaeian*, and S. Abrishamkesh**

PhD candidate, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Iran; E-mail: amini.elahe.ea@gmail.com
Associated Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Iran. E-mail: yaghmaeian_na@guilan.ac.ir
Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Iran. E-mail: sabrishamkesh@guilan.ac.ir

**«Research Article»**

Received: May 19, 2024 and Accepted: December 23, 2024

**Abstract**

The effects of trees through their root system and shading on soil characteristics lead to their effect on fertility, protection, and improvement of soil quality. In order to investigate the effect of trees age and canopy on some soil characteristics, soil samples were taken from the depths of 0-30, 30-60, and 60-90 cm from two middle canopy and edge canopy areas of 9-, 17-, and 25-years-old pistachio orchards and three control positions (without tree) in Robat Plain, Shahr-e Babak City. Soil characteristics were measured by standard methods. After the factorial test with two factors of land use and depth, the analysis of significant parameters was done in a split-split plot design and in the form of a completely random design including age (main factor), distance (first sub-factor), and soil depth (second sub-factor) in three replicates. The results showed that pistachio trees had no effect on the percentage of clay content, apparent specific gravity, mean weight diameter of soil grain, and equivalent calcium carbonate. The effect of orchard age was significant only on soil basal respiration and available potassium, and the highest amount of soil basal respiration and available potassium belonged to the 9-year-old trees. By increasing the distance from the tree, the average percentage of organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and microbial respiration decreased and the growth average showed a significant increase. With increasing soil depth, average organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and microbial respiration decreased significantly. Also, the interaction effect of age, distance from the tree, and soil depth on growth and microbial respiration was significant. In general, the changes in soil properties in the studied pistachio orchards were affected more by soil depth and canopy, so that soils in the surface layer and the middle canopy were in a more favorable condition. Considering the higher absorption of pistachio tree roots from the edge canopy, in order to prevent the reduction of soil fertility, in addition to applying fertilizer based on the results of soil test, attention should be paid to fertility managing and use of organic matter in these orchards.

**Keywords:** Canopy, Pistachio orchards, Soil fertility, Tree age

* - Corresponding author's email: yaghmaeian_na@guilan.ac.ir

پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۸ / شماره۳ پاییز/ ۱۴۰۳/۲۷۱-۲۸۶
https://doi.org/10.22092/IJSR.2024.365756.745

# اثر ریشه‌دوانی و سایه‌انداز بر برخی ویژگی‌های خاک در باغ‌های پسته با سنین مختلف در دشت رباط

الهه امینی، نفیسه یغمائیان *و سپیده ابریشم‌کش

دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان؛ amini.elahe.ea@gmail.com
دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان؛ yaghmaeian_na@guilan.ac.ir
استادیار گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان؛ sabrishamkesh@guilan.ac.ir

«مقاله پژوهشی»
دریافت: ۱۴۰۳/۲/۳۰ و پذیرش:۱۴۰۳/۱۰/۳

## چکیده

**درختان از طریق سامانه ریشه و سایه‌انداز بر ویژگی‌های حاصلخیزی و بهبود کیفیت خاک اثر می‌گذارند. به‌منظور بررسی اثر سن و تاج‌پوشش درختان پسته بر برخی ویژگی‌های خاک، نمونه‌های خاک از عمق‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری از دو فاصله نیم‌سایه‌انداز و تمام‌سایه‌انداز در باغ‌های پسته ۹، ۱۷ و ۲۵ ساله و سه موقعیت شاهد (بدون درخت) در منطقه دشت رباط شهرستان شهربابک برداشت شد. ویژگی‌های خاک با روش‌های رایج اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها در یک طرح اسپلیت اسپلیت پلات و در قالب طرح کاملا تصادفی شامل سن (عامل اصلی)، فاصله (عامل فرعی اول) و عمق (عامل فرعی دوم) در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که کشت درختان پسته بر درصد رس، جرم مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه و کربنات کلسیم معادل تاثیری نداشت. اثر سن درختان تنها بر واکنش خاک و پتاسیم قابل استفاده معنی‌دار شد که بیش‌ترین میزان واکنش خاک و پتاسیم قابل استفاده مربوط به باغ ۹ ساله بود. با افزایش فاصله از درخت، میانگین درصد کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده و تنفس میکروبی کاهش داشت و میانگین واکنش خاک افزایش معنی‌دار نشان داد. با افزایش عمق خاک، کاهش میانگین کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده و تنفس میکروبی معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل سن باغ، فاصله از درخت و عمق خاک بر واکنش خاک و تنفس میکروبی معنی‌دار شد. به طور کلی، تغییرات ویژگی‌های خاک در باغ‌های پسته‌ی مزبور، بیش‌تر متأثر از عمق خاک و سایه‌انداز قرار داشت، به طوری‌که ویژگی‌های خاک در عمق سطحی و فاصله نیم‌سایه‌انداز از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار بود. با توجه به جذب بیش‌تر ریشه درختان پسته از قسمت انتهایی سایه‌انداز، برای جلوگیری از کاهش حاصلخیزی خاک، علاوه بر کوددهی بر اساس نتایج آزمون خاک، لازم است به مدیریت تغذیه و مصرف مواد آلی در این باغ‌ها توجه شود.**

**واژه‌های کلیدی:** باغ پسته، تاج‌پوشش، سن درخت، حاصلخیزی خاک

- * آدرس ایمیل نویسنده مسئول:yaghmaeian_na@guilan.ac.ir

**مقدمه**

خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی و بستر رشد گیاهان است که نقش مهمی در پایداری اکوسیستم‌ها دارد. از آنجایی‌که گیاهان و خاک به شدت به هم مرتبط هستند، بر یکدیگر اثر می‌گذارند (لیو و همکاران، ۲۰۲۱a). سن درختان از جمله عوامل موثر بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک باغ‌ها است (یین و همکاران، ۲۰۲۱؛ ژائو و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین سایه‌انداز درختان نیز می‌تواند به طور مستقیم و غیرمستقیم بر وضعیت عناصر غذایی خاک تأثیر بگذارد (لیو و همکاران، ۲۰۲۱b). در واقع سایه‌انداز با تأثیری که بر روی دما، رطوبت و دسترسی مواد مغذی از طریق لاشبرگ دارد، می‌تواند خاک را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد (کولز و همکاران، ۲۰۱۴؛ ون‌نول و همکاران، ۲۰۱۴)؛ این امر می‌تواند به‌طور مستقیم در چرخه‌ی عناصر غذایی خاک نقش داشته باشد ( کوچ و بیرانوند، ۲۰۱۷) یا به‌طور غیرمستقیم بر روی اندازه و جوامع ماکرو و میکروفون‌های خاک تأثیر بگذارد (دی‌وندلر و همکاران، ۲۰۱۸؛ اسچلفوت و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین سایه‌انداز درختان می‌تواند بر تنوع زیست‌توده و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر گذاشته و موجب تغییر ویژگی‌های خاک سایه‌انداز شود (گارج و همکاران، ۲۰۲۲). علاوه بر اثر سایه‌انداز، وجود ریشه‌های درختان، فضاهای کنار ریشه و کانال‌های ریشه با تأثیر بر ویژگی‌های شیمیایی، فعالیت میکروبی و شدت هوازدگی بیولوژیکی، الگوی تشکیل خاک را تغییر می‌دهند (پاولیک و همکاران، ۲۰۲۳)؛ در واقع درختان به‌وسیله‌ی ریشه‌های عمیق خود و دسترسی به عناصر غذایی اعماق خاک، موجب بهبود چرخه‌ی عناصر غذایی خاک شده و به باروری و بهبود شرایط خاک در منطقه‌ی سایه‌انداز کمک می کنند (اتافا، ۲۰۲۲). محققین بیان داشته‌اند تأثیر درختان تنها به ناحیه سایه‌انداز و سطح خاک محدود نمی‌شود، بلکه تا اطراف درختان و در سطح کم‌تری به عمق‌های پایین‌تر، گسترش می یابد (اکا و همکاران، ۲۰۱۷). نتایج پژوهش رضایی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۹)، تجمع عناصر غذایی در زیر سایه‌انداز درختچه‌های بادام وحشی و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با افزایش سن درختچه‌ها را نشان‌داد. همچنین مطالعه‌ی اسلید و ولز (۲۰۲۲) حاکی از افزایش پایداری خاکدانه‌ها، محتوای ماده آلی و میزان تنفس میکروبی خاک با افزایش سن درختان گردوی گرمسیری می‌باشد. بحرا و همکاران (۲۰۲۰) نیز طی پژوهشی دریافتند که برخی ویژگی‌های خاک از جمله: واکنش خاک، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی و فسفر قابل استفاده، به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر عمق خاک و سن کاشت درختان نخل روغنی قرار گرفته‌اند. از جمله بررسی‌های انجام شده در خصوص تغییر ویژگی‌های خاک تحت‌تأثیر تاج‌پوشش و سایه‌انداز، پژوهش بازگیر و مقصودی (۱۳۹۸) می‌باشد که بیش‌تر بودن میزان کربن آلی، تنفس میکروبی و فعالیت میکروبی خاک در زیر سایه‌انداز نسبت به خارج سایه‌انداز درختچه‌های گز طبیعی ***(Tamarix ramosissima Ledeb.)*** را گزارش کردند. نتایج پژوهش‌های رستمی‌زاد و همکاران (۱۳۹۷) و مسفین و هایله‌سلاسی (۲۰۲۲) نیز حاکی از افزایش عناصر غذایی و ذخایر کربن آلی خاک در زیر سایه‌انداز نسبت به خارج سایه‌انداز درختان بوده است؛ که آنان حضور درختان را موجب بهبود کیفیت و حاصلخیزی خاک بیان کردند.

پسته ***(Pistacia vera L.)*** گیاهی نیمه‌گرمسیری، دوپایه و خزان‌کننده، از خانواده‌ی ***Anacardiaceae*** و جنس ***Pistacia vera L.*** است (ویلکینسون، ۲۰۰۵). پسته یکی از محصولات باغی ایران است که بیش‌تر در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۹). استان کرمان به عنوان قطب تولید پسته و مهم‌ترین منطقه‌ی زیرکشت پسته در سراسر جهان به‌شمار می‌آید (تقی‌زاده علی سارایی و همکاران، ۲۰۱۷). در سال۱۴۰۲ میزان تولید پسته کشور در سطح بیش از ۵۹۹ هزار هکتار، حدود ۴۴۰ هزار تن بوده‌است که استان کرمان با ۲۷۱۳۴۴ هکتار سطح بارور، سهم ۳۲ درصدی در رتبه اول تولید پسته کشور قرار گرفته‌است.

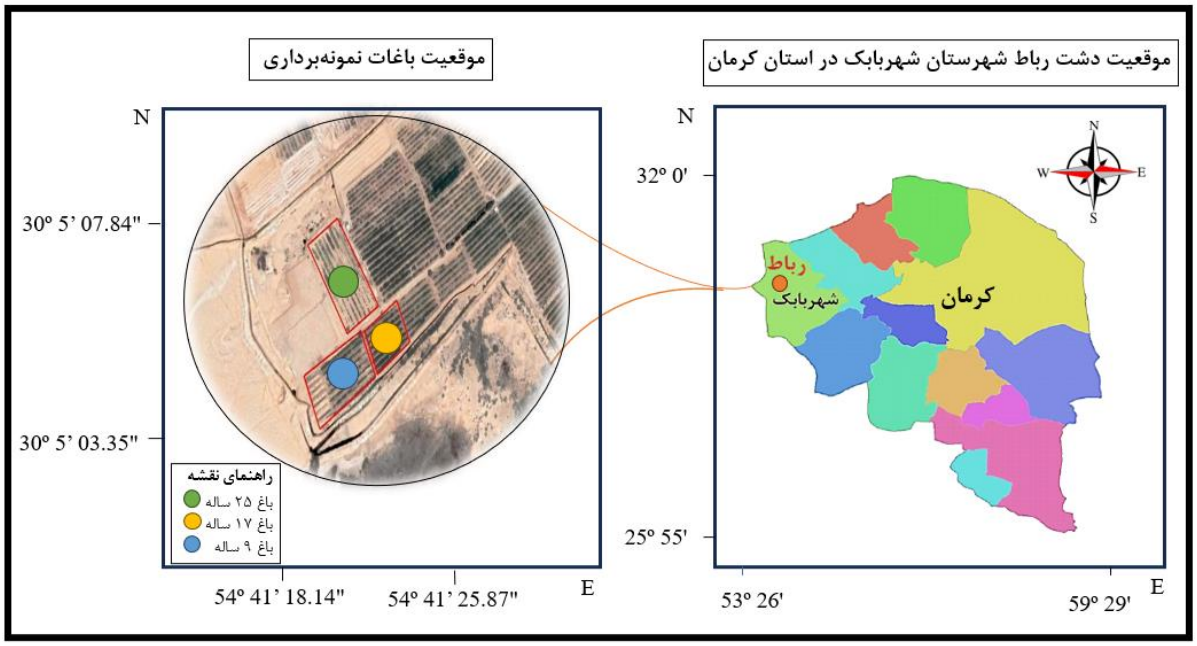
میزان تولید این استان ۱۴۰۵۹۳ تن و عملکرد آن ۵۱۸ کیلوگرم در هکتار بوده‌است (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۲).

شناسایی روابط خاک با گیاهان بومی مستقر در هر اقلیم، جهت بقای آن‌ها و مدیریت صحیح و منطبق بر اصول اکولوژیکی از اهمیت زیادی برخوردار است؛ به ویژه در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک حضور درختان از طریق سیستم ریزوسفر و تاج‌پوشش، تأثیر بسزایی در حاصلخیزی، حفاظت و بهبود کیفیت خاک دارد. از آنجا که آگاهی از روابط بین پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک برای دستیابی به این مهم ضروری است، این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه ویژگی‌های خاک باغ‌های پسته و اراضی بکر مجاور، بررسی اثر اعماق مختلف محیط ریزوسفر درختان پسته با سنین مختلف بر ویژگی‌های خاک و همچنین بررسی روابط بین تاج پوشش این درختان و ویژگی‌های خاک در منطقه دشت رباط شهرستان شهربابک انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

### منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه، دشت رباط در فاصله‌ی ۳۰ کیلومتری غربی شهرستان شهربابک است که در عرض جغرافیایی ۳۰درجه و ۵ دقیقه و ۵ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۴۱ دقیقه و ۲۱ ثانیه شرقی قرار گرفته‌است (شکل ۱). این منطقه از مناطق مهم و مستعد کشت پسته در استان کرمان می‌باشد و دارای وسعتی حدود ۱۲۰۰۰ هکتار است (سجادی و همکاران، ۱۳۹۰). منطقه‌ی مورد مطالعه در انتهای مخروط‌افکنه‌های قدیمی و در واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای قرار گرفته‌است که متشکل از رسوبات حمل شده توسط رودخانه‌های موقت سیلابی هستند (ابراهیمی میمند، ۱۳۸۸؛ جباری، ۱۳۸۸). رژیم رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب، اریدیک (Aridic) و ترمیک (Thermic) می‌باشد. خاک‌های منطقه در رده‌های اریدی‌سول و انتی‌سول و خاک باغ‌های مورد مطالعه در زیرگروه Typic Torriorthents قرار دارند (ابراهیمی‌میمند و همکاران، ۱۳۹۰؛ ابراهیمی‌میمند، ۱۳۸۸). نمونه‌های خاک از دو فاصله مختلف نیم‌سایه‌انداز و تمام‌سایه‌انداز درختان پسته و از سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری در سه باغ ۹، ۱۷ و ۲۵ ساله در سه تکرار برداشت شدند. از زمین‌های بایر مجاور باغ‌ها، سه موقعیت شاهد انتخاب و نمونه‌برداری از سه عمق، مشابه باغ‌ها انجام‌شد (در مجموع ۶۳ نمونه خاک). لازم به ذکر است سه باغ انتخاب‌شده در مجاورت یکدیگر و تحت مدیریت مشابهی قرار داشتند. آبیاری باغ‌ها به‌صورت غرقابی با آب چاه و با مدیریت یکسان بود. کوددهی نیز در تمامی باغ‌ها به صورت چال‌کود (عمق ۵۰ سانتی‌متری) در یک طرف درختان در انتهای زمستان صورت گرفته بود و نمونه‌برداری خاک از سمتی که چال‌کود وجود نداشت، انجام گرفت.




**شکل۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه**

## روش‌های اندازه‌گیری آزمایشگاهی

نمونه‌برداری از خاک به دو صورت دست‌خورده و دست‌نخورده انجام شد. پس از آن برخی ویژگی‌های خاک شامل: توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتر بایکاس (بایکاس، ۱۹۶۲)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)[1] به‌روش الک تر ( یودر، ۱۹۳۶) با تصحیح ذرات شن، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و پارافین (پلستر، ۱۹۸۵)، واکنش خاک به روش پتانسیومتری در عصاره‌ی اشباع خاک (اسکوفیلد و تیلور، ۱۹۵۵)، قابلیت هدایت الکتریکی به‌وسیله ی هدایت‌سنج الکتریکی در عصاره‌ی اشباع خاک (رودز و ونسچیفارد، ۱۹۷۶)، کربنات کلسیم معادل با روش خنثی کردن با اسیدکلریدریک (الیسون و مودی، ۱۹۶۵)، ماده آلی به روش والکی-بلک (نلسون و سومرز، ۱۹۷۴)، نیتروژن کل به روش کجلدال (برمر، ۱۹۹۶)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن با دستگاه اسپکتوفتومتری (اولسن، ۱۹۵۴)، پتاسیم قابل استفاده به روش عصاره‌گیری با استات‌آمونیوم و با استفاده از دستگاه شعله‌سنج (نوسن و همکاران، ۱۹۸۳) و تنفس پایه (BR)[2] به روش انکوباسیون (الیف و نانیپیری، ۱۹۹۵) اندازه‌گیری‌شد.

## تحلیل آماری داده‌ها

ابتدا به منظور بررسی تفاوت کلی ویژگی‌های خاک باغ‌های پسته و اراضی بکر مجاور (شاهد) از آزمون فاکتوریل با دو فاکتور عمق (سه عمق) و کاربری (باغ‌های پسته و شاهد) استفاده شد. سپس ویژگی‌های خاکی که متاثر از کشت درختان پسته بودند به صورت اسپلیت اسپلیت پلات و در قالب طرح کاملا تصادفی با یک فاکتور اصلی (سن در سه سطح)، دو فاکتور فرعی ( فاصله در دو سطح و عمق در سه سطح) در سه تکرار با نرم‌افزار SAS نسخه 9.4 مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد و بررسی همبستگی پیرسون در نرم‌افزار SPSS نسخه 26 انجام شد.

[1]. Mean weight diameter

[2]. Basal Respiration

## نتایج و بحث

نتایج تجریه واریانس (جدول ۱) و مقایسه میانگین (جدول ۲) ویژگی‌های خاک به منظور بررسی تفاوت کلی ویژگی‌های خاک باغ‌های پسته و اراضی بکر مجاور (شاهد) نشان داد که از نظر جرم مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه و کربنات‌کلسیم معادل بین باغ‌های پسته و اراضی بکر مجاور تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. از آنجایی که از نظر بافت خاک، بین باغ‌های پسته و اراضی بکر مجاور تفاوتی وجود ندارد و بافت خاک تمام نمونه‌ها لومی شنی (Sandy Loam) به دست آمد؛ به دلیل عدم تاثیر کشت درختان پسته بر بافت خاک، از اختلاف اندک درصد رس باغ های پسته و اراضی بکر صرف‌نظر شد. سجادی و همکاران (۱۳۹۰) عدم تاثیر کشت پسته و رضایی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۸) عدم تأثیر درختچه بادام وحشی ***(Amygdalus arabica Olive.)*** بر تغییر بافت خاک را گزارش کردند. تغییرات بافت خاک در کوتاه مدت به‌طور معمول اندک است زیرا که بافت خاک صفتی پایدار است و معمولا از سنگ مادر تأثیر می‌پذیرد؛ در نتیجه از نظر مکانی متغییر و از نظر زمانی تا حدی پایدار می‌باشد جز آنکه نیروهای خارجی مانند جریان‌های آب، باد و نیروی ثقل و یا دخالت‌های انسانی موجب تغییر آن شود (رضایی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۹). بررسی نتایج تجزیه‌ی آب آبیاری (جدول ۳) نشان می‌دهدکه کیفیت آب آبیاری باغ‌های پسته در محدوده‌ی مطلوب قرار دارد و توانسته است قابلیت هدایت الکتریکی خاک باغ‌های پسته را نسبت به اراضی بکر مجاور به‌طور قابل توجهی کاهش دهد (جدول ۲). علی‌رغم اختلاف معنی‌دار واکنش خاک بین باغ های پسته و اراضی بکر مجاور (جدول ۲)، میانگین واکنش خاک هر دو در محدوده‌ی خنثی قرار دارد که این امر می‌تواند به دلیل غالب بودن نمک‌های کلرورسدیم و سولفات‌سدیم در خاک‌های مورد مطالعه باشد، زیرا که این املاح تغییرات محسوسی در واکنش خاک ایجاد نمی‌کنند (سجادی و همکاران، ۱۳۹۱). در نهایت به منظور بررسی اثر ریشه‌دوانی و سایه‌انداز در باغ‌های پسته با سنین مختلف فقط از ویژگی‌های قابلیت هدایت الکتریکی، واکنش خاک، کربن‌آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده، پتاسیم قابل استفاده و تنفس میکروبی در تجزیه و تحلیل‌های بعدی استفاده شد.

جدول ۴ تجزیه واریانس اثر سن، فاصله از درخت، عمق و اثر متقابل آن‌ها در باغ‌های پسته را بر ویژگی‌های خاک نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج اثر سن باغ‌ها بر واکنش خاک و پتاسیم قابل استفاده، اثر فاصله نمونه‌برداری از درخت بر واکنش خاک، کربن‌آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده و تنفس میکروبی و اثر عمق خاک بر کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده و تنفس میکروبی معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل سن باغ‌ها و فاصله از درخت بر واکنش خاک، اثر متقابل سن باغ‌ها، فاصله از درخت و عمق خاک بر واکنش خاک و تنفس میکروبی معنی‌دار بود. هیچ‌کدام از سه فاکتور اثر معنی‌داری بر روی قابلیت هدایت الکتریکی نداشتند.

**جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ویژگی‌های خاک در باغ‌های پسته و اراضی بایر مجاور (شاهد)**

| منبع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | جرم مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$) | میانگین وزنی قطر خاکدانه (mm) | رس (٪) | واکنش خاک | قابلیت هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$) | کربنات کلسیم معادل (٪) | کربن آلی (٪) | نیتروژن کل (٪) | فسفر قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$) | پتاسیم قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$) | تنفس میکروبی ($mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$) |
| کاربری | ۱ | ۰/۰۱۵$^{ns}$ | ۰/۰۰۷$^{ns}$ | ۲۴۰/۹۰$^{**}$ | ۲/۳۵$^{**}$ | ۱۹۲۰۲/۴$^{**}$ | ۱۱/۸۳$^{ns}$ | ۰/۳۰۸$^{**}$ | ۰/۰۰۰۸$^{**}$ | ۱۲۳۶/۹$^{*}$ | ۱۹۷۲۵$^{*}$ | ۰/۰۵۱$^{**}$ |
| عمق | ۲ | ۰/۰۱۶$^{ns}$ | ۰/۰۱۷$^{ns}$ | ۱۶/۸۵$^{ns}$ | ۰/۰۱۳$^{ns}$ | ۲۱۵۸/۶۷$^{**}$ | ۱۳/۶۱$^{ns}$ | ۰/۲۵$^{**}$ | ۰/۰۰۰۶$^{**}$ | ۵۱۳/۳۶$^{ns}$ | ۱۶۸۸۵$^{ns}$ | ۰/۰۷۵$^{**}$ |
| کاربری*عمق | ۲ | ۰/۰۱۱$^{ns}$ | ۰/۰۰۴۲$^{ns}$ | ۵/۳۸$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۵$^{ns}$ | ۲۱۸۹/۹۳$^{**}$ | ۰/۰۲۱$^{ns}$ | ۰/۰۶۷$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۱۹$^{ns}$ | ۱۸۴/۱۴$^{ns}$ | ۲۰۳۷۷$^{ns}$ | ۰/۰۰۶۲$^{ns}$ |
| خطای باقی‌مانده | ۳۰ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۰۶ | ۲۱/۵۱ | ۰/۰۴۸ | ۱۲۷/۲۶ | ۴/۸۳ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۰۰۰۹۴ | ۲۲۲/۲۸ | ۲۸۷۷۸ | ۰/۰۰۳۹ |
| ضریب تغییرات (درصد) | | ۷/۰۲ | ۳۶/۹۷ | ۳۳/۱۱ | ۳/۰۵ | ۶۵/۸۴ | ۱۷/۸۹ | ۶۱/۵۵ | ۵۳/۲۸ | ۸۱/۱۳ | ۴۰/۶۴ | ۳۷/۲۲ |

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار، معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد می‌باشند.

**جدول ۲- مقایسه میانگین ویژگی‌های خاک در باغ‌های پسته و اراضی بایر مجاور (شاهد)**

| کاربری | رس (٪) | واکنش خاک | قابلیت هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$) | کربن آلی (٪) | نیتروژن کل (٪) | فسفر قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$) | پتاسیم قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$) | تنفس میکروبی ($mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| باغ پسته | ۱۲/۵۱$^{b}$ | ۷/۶۱$^{a}$ | ۳/۷$^{b}$ | ۰/۳۷$^{a}$ | ۰/۰۲۱$^{a}$ | ۱۲/۷۵$^{a}$ | ۵۴۵/۵۶$^{a}$ | ۰/۱۹$^{a}$ |
| شاهد | ۱۸/۴۸$^{a}$ | ۷/۰۲$^{b}$ | ۵۷/۱۳$^{a}$ | ۰/۱۶$^{b}$ | ۰/۰۰۹$^{b}$ | ۸/۲۲$^{b}$ | ۳۷۴/۶۳$^{b}$ | ۰/۱۰$^{b}$ |

حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

**جدول ۳- نتایج تجزیه کیفیت آب آبیاری در منطقه‌ی مورد مطالعه**

| pH | EC (dS/m) | SAR | $Na^+$ | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ | $HCO_3^-$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (meq/l) | | | | | | |
| ۶/۱۷ | ۴/۴ | ۸/۸۲ | ۳۰/۵۸ | - | ۱۲ | ۱۲ | ۳۲/۵ | ۱۸/۰۸ | ۴ |

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار، معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد می‌باشند.

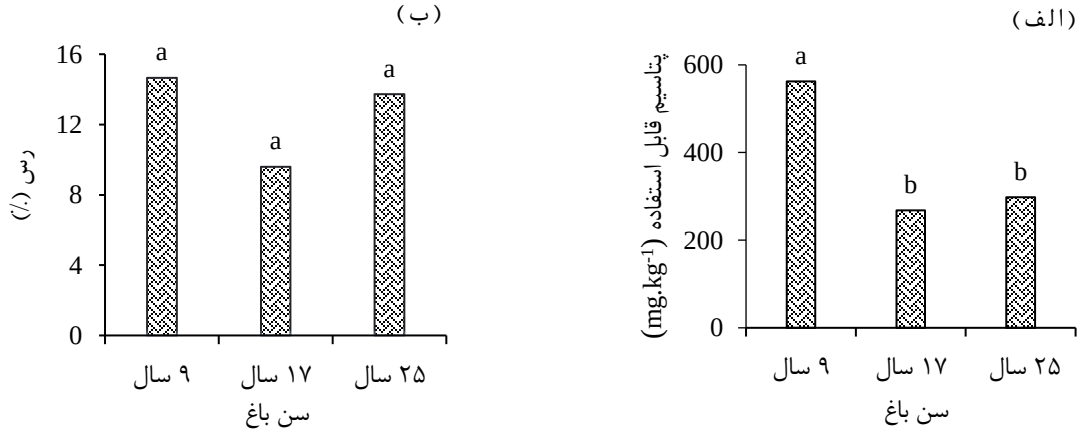
**جدول ۴- تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک در باغ‌های پسته‌ی مورد مطالعه**

| منبع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | واکنش خاک | قابلیت هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$) | کربن آلی (٪) | نیتروژن کل (٪) | فسفر قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$) | پتاسیم قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$) | تنفس میکروبی ($mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$) |
| سن | ۲ | ۰/۴۳۲$^{*}$ | ۰/۸۷۲$^{ns}$ | ۰/۲۶۹$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۵$^{ns}$ | ۱۶۱/۵۷$^{ns}$ | ۴۸۵۶۳۴/۲$^{**}$ | ۰/۰۳۲$^{ns}$ |
| خطای کرت اصلی (سن) | ۴ | ۰/۰۳۳ | ۱/۰۹ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۰۰۲ | ۱۳۳۰/۵ | ۲۱۳۹۹/۵ | ۰/۰۱۱ |
| فاصله | ۱ | ۰/۶۷۳$^{**}$ | ۰/۰۲۶$^{ns}$ | ۰/۷۰۳$^{*}$ | ۰/۰۰۱$^{*}$ | ۴۳۲۰/۱$^{*}$ | ۱۱۲۰/۶$^{ns}$ | ۰/۱۸۷$^{**}$ |
| اثر متقابل سن و فاصله | ۲ | ۰/۱۴۸$^{**}$ | ۰/۲۰۹$^{ns}$ | ۰/۰۳۷$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۸$^{ns}$ | ۵۵۵/۷۲$^{ns}$ | ۳۴۸۱/۵$^{ns}$ | ۰/۰۰۵$^{ns}$ |
| خطای کرت فرعی (فاصله) | ۶ | ۰/۰۱۳ | ۰/۸۹۸ | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۰۰۱ | ۶۷۱/۸ | ۳۹۸۰/۱ | ۰/۰۰۶ |
| عمق | ۲ | ۰/۰۳۹$^{ns}$ | ۰/۳۶۹$^{ns}$ | ۱/۱۸$^{**}$ | ۰/۰۰۳$^{**}$ | ۲۵۳۱/۳$^{**}$ | ۴۵۷/۴$^{ns}$ | ۰/۲۳۱$^{**}$ |
| اثر متقابل سن و عمق | ۴ | ۰/۰۷۸$^{ns}$ | ۰/۴۱$^{ns}$ | ۰/۰۴۷$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۱۲$^{ns}$ | ۲۷۲/۴۶$^{ns}$ | ۱۵۹۳۶/۹$^{ns}$ | ۰/۰۰۲$^{ns}$ |
| اثر متقابل فاصله و عمق | ۲ | ۰/۰۴۲$^{ns}$ | ۰/۱۹۵$^{ns}$ | ۰/۰۴۶$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۱۲$^{ns}$ | ۲۸۹/۰۵$^{ns}$ | ۷۹۰۹/۵$^{ns}$ | ۰/۰۰۷$^{ns}$ |
| اثر متقابل سن، فاصله و عمق | ۴ | ۰/۱۱۷$^{*}$ | ۰/۰۹۱$^{ns}$ | ۰/۰۴۸$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۱۱$^{ns}$ | ۳۹۳/۹۴$^{ns}$ | ۱۳۹۰۳/۱$^{ns}$ | ۰/۰۱۱$^{*}$ |
| خطای باقی‌مانده | | ۰/۰۳۵ | ۰/۷۱ | ۰/۰۴۴ | ۰/۰۰۰۱ | ۲۷۵/۳۷ | ۱۰۹۷۴/۶۳ | ۰/۰۰۲۹ |
| ضریب تغییرات (درصد) | | ۲/۶۹ | ۳۵/۷۷ | ۵۵/۴۹ | ۴۹/۱۱ | ۷۶/۲۶ | ۲۷/۹۶ | ۲۷/۷۴ |

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار، معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد می‌باشند.

## تأثیر سن درختان پسته بر ویژگی‌های خاک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر سن درختان بر میانگین پتاسیم قابل استفاده در سطح یک درصد ($P < ۰/۰۱$) معنی دار بود (جدول ۴). بیش‌ترین میانگین پتاسیم قابل استفاده مربوط به باغ ۹ ساله با مقدار ۵۶۳/۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که اختلاف معنی‌دار با میانگین پتاسیم قابل استفاده‌ی باغ های ۱۷ و ۲۵ ساله، به‌ترتیب با مقادیر ۲۶۲/۸۹ و ۲۹۷/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان داد (شکل ۲. الف). روند تغییرات پتاسیم قابل استفاده در باغ‌های با سنین مختلف مشابه تغییرات درصد رس است (شکل ۲. ب). از آنجا که رس نقش مهمی در دسترس بودن، تبادل و تعادل اشکال پتاسیم در خاک دارد (زاده‌پاریزی و همکاران، ۱۳۹۹) و با توجه به همبستگی مثبت معنی‌داری ($P < ۰/۰۱$) بین پتاسیم قابل استفاده با درصد ذرات رس ( $r = ۰/۴۳$) (جدول ۷)، می‌توان کاهش درصد ذرات رس را از دلایل احتمالی کاهش پتاسیم قابل استفاده در باغ‌های مورد مطالعه بیان کرد. همبستگی مثبت و قوی رس با پتاسیم قابل استفاده توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (زاده‌پاریزی و همکاران، ۱۳۹۹؛ قیری و همکاران، ۲۰۱۰). حسینی‌فرد و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی رابطه بین سن درختان پسته با اشکال مختلف پتاسیم بیان کردند که میزان پتاسیم قابل استفاده با افزایش سن درختان پسته کاهش پیدا می‌کند. نتایج مشابهی توسط شاهرخ و همکاران (۲۰۱۹) گزارش شده است، آنان دلیل کاهش پتاسیم قابل استفاده با افزایش سن درختان لیمو را حضور مقادیر کم‌تر رس و تقاضای بالای پتاسیم با افزایش سن، جذب ریشه‌ای و همچنین آبشویی در طول زمان اعلام کرده‌اند؛ همچنین بیان‌داشتند کاهش پتاسیم قابل استفاده ممکن است در اثر افزایش فعالیت‌های میکروبی رخ داده باشد. در مطالعه‌ی حاضر کم‌ترین میزان پتاسیم قابل استفاده مربوط به باغ ۱۷ ساله بود که دارای کم‌ترین میزان رس و بیش‌ترین میانگین تنفس میکروبی نیز می‌باشد (شکل‌های ۲. ب و ۳. ب).




**شکل ۲- اثر سن درخت بر الف) پتاسیم قابل استفاده و ب) درصد رس**

(براساس آزمون Tukey میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.)

## تأثیر فاصله از درخت پسته بر ویژگی‌های خاک

اثر فاصله در سطح پنج درصد ($P < ۰/۰۵$) بر کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده معنی‌دار شد؛ با افزایش فاصله از درخت، میانگین کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده کاهش یافت؛ به‌طوری‌که میانگین کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده در نیم‌سایه‌انداز نسبت به تمام‌سایه‌انداز به ترتیب ۸۸، ۸۰ و ۱۴۰ درصد بیش‌تر است (جدول ۵). همبستگی مثبت معنی‌دار ($P < ۰/۰۱$) کربن آلی

با نیتروژن کل خاک (r = ۰/۹) و فسفر قابل استفاده (r = ۰/۴ ) نشان دهنده‌ی این است که نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده تا حد زیادی منشأ آلی داشته و با افزایش مواد آلی در اثر ریزش برگ‌ها و بقایای گیاهی، مقادیر این عناصر نیز افزایش قابل توجهی یافته‌است (جدول ۷). محققین بسیاری، افزایش مواد آلی و عناصر غذایی خاک در زیر سایه‌انداز نسبت به خارج سایه‌انداز درختان را گزارش‌کرده‌اند (جعفری میانایی و همکاران، ۱۳۹۴؛ مفسین و هایله‌سلاسی، ۲۰۲۲). دلایل افزایش عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر در زیر سایه‌انداز درختان، اضافه شدن مواد آلی از طریق ریزش برگ‌ها، معدنی‌شدن مواد آلی اضافه شده (اتافا، ۲۰۲۲؛ دستا و همکاران، ۲۰۱۸)؛ رطوبت بیش‌تر و شدت روشنایی کم‌تر که در نتیجه موجب تشکیل جزایر حاصلخیزی و افزایش محتوای عناصر غذایی و آلی خاک می‌شود، عنوان شده است ( صادقی و همکاران، ۲۰۱۳؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۱۶). ساعدی و همکاران (۱۳۹۵) نیز عوامل موثر بر میزان فسفر در زیر سایه‌انداز درختان جنگلی را تراکم تاج‌پوشش، سایه‌اندازی و وضعیت ریشه‌دوانی بیان‌کرده‌اند.

**جدول ۵- اثر فاصله از درخت بر کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده**

| فاصله از درخت | کربن آلی (٪) | نیتروژن کل (٪) | فسفر قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| نیم‌سایه‌انداز | ۰/۴۹[a] | ۰/۰۲۷[a] | ۳۰/۷[a] |
| تمام‌سایه‌انداز | ۰/۲۶[b] | ۰/۰۱۵[b] | ۱۲/۸۱[b] |

براساس آزمون Tukey میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.

## تأثیر عمق بر ویژگی‌های خاک

اثر عمق خاک در سطح یک درصد (P < ۰/۰۱) بر کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده معنی‌دار شد؛ با افزایش عمق، میانگین کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده کاهش یافت و عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر با دو عمق دیگر (۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌دار نشان داد. به این ترتیب، بیش‌ترین میانگین کربن آلی (۰/۶۷ درصد)، نیتروژن کل (۰/۰۳۶ درصد) و فسفر قابل استفاده (۳۵/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری و کم ترین مقادیر (به ترتیب ۰/۱۸ درصد، ۰/۰۱۱ درصد و ۱۳/۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متری است (جدول ۶). بیش‌تر بودن این مواد مغذی در عمق سطحی به دلیل تجمع لاشبرگ و اضافه شدن مواد آلی به خاک و مصرف کود بوده‌است. بی‌دیالو و همکاران (۲۰۱۹) نیز کاهش عناصر غذایی با افزایش عمق خاک را گزارش‌کرده‌اند. محققین دلایل بیش‌تر بودن عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر در عمق سطحی را به‌علت مصرف کود (اسلید و ولز، ۲۰۲۲) و آبشویی نیترات را دلیل کاهش درصد نیتروژن با افزایش عمق اعلام کرده‌اند (ونگ و همکاران، ۲۰۱۵).

**جدول ۶- اثر عمق خاک بر کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده**

| عمق (سانتی‌متر) | کربن آلی (٪) | نیتروژن کل (٪) | فسفر قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| ۳۰-۰ | ۰/۶۷[a] | ۰/۰۳۶[a] | ۳۵/۲۷[a] |
| ۶۰-۳۰ | ۰/۲۸[b] | ۰/۰۱۶[b] | ۱۶/۸۸[b] |
| ۹۰-۶۰ | ۰/۱۸[b] | ۰/۰۱۱[b] | ۱۳/۱۱[b] |

براساس آزمون Tukey میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.

**جدول ۷- ضرایب همبستگی پیرسون ویژگی‌های خاک**

| | رس | واکنش خاک | قابلیت هدایت الکتریکی | کربن آلی | نیتروژن کل | فسفر قابل استفاده | پتاسیم قابل استفاده | تنفس میکروبی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| رس | ۱ | | | | | | | |
| واکنش خاک | ۰/۱۷ | ۱ | | | | | | |
| قابلیت هدایت الکتریکی | -۰/۱۴ | -۰/۰۷ | ۱ | | | | | |
| کربن آلی | ۰/۱۴ | -۰/۴۲** | ۰/۰۶ | ۱ | | | | |
| نیتروژن کل | ۰/۱۷ | -۰/۴۱** | ۰/۰۵ | ۰/۹۸** | ۱ | | | |
| فسفر قابل استفاده | ۰/۴۳** | -۰/۱۸ | ۰/۰۳ | ۰/۴۱** | ۰/۴۳** | ۱ | | |
| پتاسیم قابل استفاده | ۰/۴۳** | ۰/۴۰** | ۰/۰۰۳ | -۰/۱۹ | -۰/۱۷ | -۰/۰۳ | ۱ | |
| تنفس میکروبی | ۰/۱۴ | -۰/۴۱** | -۰/۰۰۶ | ۰/۹۰** | ۰/۹۰** | ۰/۴۵** | -۰/۱۹ | ۱ |

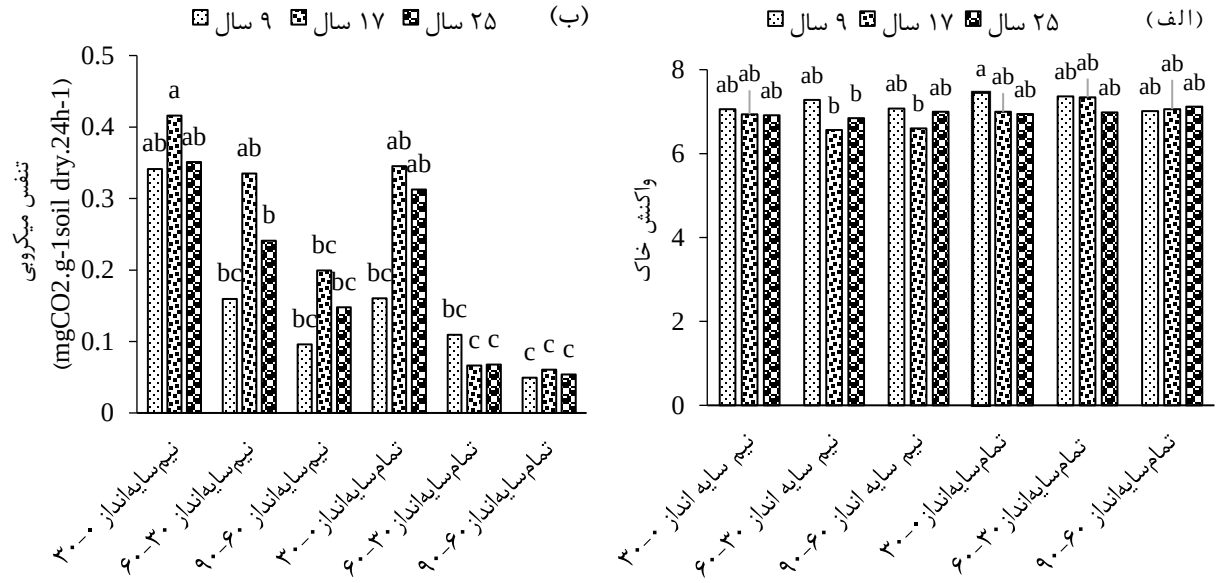
ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهندی غیر معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد می‌باشند.

## اثرات متقابل سن باغ‌ها، فاصله از درخت و عمق بر ویژگی‌های خاک

اثر سن باغ‌ها ($P < ۰/۰۵$)، اثر فاصله ($P < ۰/۰۱$) و اثر متقابل سن، فاصله از درخت و عمق ($P < ۰/۰۵$) بر واکنش خاک معنی‌دار بود (جدول ۴)؛ به‌طوری‌که با افزایش سن باغ‌ها میزان واکنش خاک در هر دو فاصله از درختان (نیم‌سایه‌انداز و تمام‌سایه‌انداز)، به‌طور مشخص در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری کاهش یافت. همچنین میزان واکنش خاک در نیم‌سایه‌انداز درختان کم‌تر از تمام‌سایه‌انداز بود. بیش‌ترین واکنش خاک (۷/۴۴) مربوط به عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نیم‌سایه‌انداز باغ ۹ ساله و کم‌ترین مقدار (۶/۵۶) مربوط به عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری نیم‌سایه‌انداز باغ ۱۷ ساله بود (شکل۳. الف). با توجه به جدول ۷، همبستگی منفی معنی‌داری ($P < ۰/۰۱$) بین کربن آلی با واکنش خاک (۰/۴- = r) وجوددارد، از دلایل کاهش واکنش خاک با افزایش سن باغ‌ها در نیم‌سایه‌انداز، می‌توان به تجمع برگ‌ها در زیر درختان و اسیدهای آلی ناشی از تجزیه‌ی برگ‌ها اشاره کرد. محققین دلایل کاهش واکنش خاک در نواحی ریشه درختان را به تولید دی‌اکسیدکربن حاصل از تنفس، تولید و آزادسازی اسیدهای آلی توسط ریشه و میکروارگانیسم‌ها، جذب یون‌ها توسط گیاه برای حفظ خنثی بودن بار (ترپولت و همکاران، ۲۰۰۵؛ اوترو و همکاران، ۲۰۱۵) یا تجمع کودهای شیمیایی نسبت داده‌اند (ژائو و همکاران، ۲۰۱۹).

اثر متقابل سن، فاصله و عمق بر میانگین تنفس میکروبی در سطح پنج درصد ($P < ۰/۰۵$) معنی‌دار بود؛ بیش‌ترین میزان تنفس میکروبی در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نیم‌سایه‌انداز باغ ۱۷ ساله (۰/۴۱۵ $mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$) و کم‌ترین مقدار مربوط به عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متری تمام‌سایه‌انداز باغ ۹ ساله (۰/۰۴۹ $mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$) بوده‌است. بیش ترین میانگین تنفس میکروبی در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نیم‌سایه‌انداز و تمام‌سایه‌انداز مشاهده‌شد که با افزایش عمق روند کاهشی داشتند (شکل ۳. ب). تنفس میکروبی در نیم‌سایه‌انداز با میانگین ۰/۲۵ $mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$ به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تمام‌سایه‌انداز با میانگین

$mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$ ۰/۱۳ بود. بیش‌ترین میانگین تنفس میکروبی ($mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$ ۰/۳۲) مربوط به عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری و کم‌ترین میانگین ($mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$ ۰/۱۰) در عمق ۶۰-۹۰ سانتی‌متری مشاهده شد. در واقع میزان تنفس میکروبی خاک با افزایش فاصله از درخت و عمق خاک کاهش یافته‌است. وو و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند با افزایش سن باغ‌ها، به دلیل افزایش تراکم سایه‌انداز، کاهش تابش خالص خورشید، کاهش دمای خاک و افزایش محتوای آب خاک، تنفس خاک افزایش می‌یابد. افزایش تنفس خاک می‌تواند به دلیل افزایش جمعیت کل میکروب‌های خاک و یا افزایش فعالیت میکروب‌ها در نتیجه کربن بالاتر باشد (اسلید و ولز، ۲۰۲۲). بازگیر و مقصودی (۱۳۹۸) نیز بیان داشتند که بیش‌تر بودن تنفس میکروبی خاک در فاصله نیم‌سایه‌انداز به دلیل بیش‌تر بودن مواد آلی نسبت به تمام‌سایه‌انداز می‌باشد. محققین کاهش تنفس میکروبی با افزایش فاصله از درخت را به دلیل کاهش رطوبت و افزایش دما در اثر کاهش سایه‌اندازی بیان‌کرده‌اند (ری‌بنایس و همکاران، ۲۰۰۷). کاهش فراهمی اکسیژن در اعماق، سبب کاهش فعالیت‌های زیستی میکروارگانیسم‌های خاک و در نتیجه کاهش تنفس میکروبی می‌گردد، از طرفی محققین کاهش ماده آلی و نیتروژن در اعماق پایین را دلیل کاهش تنفس میکروبی بیان‌کرده‌اند (ساداتی و همکاران، ۱۴۰۱).




**شکل ۳- اثر متقابل سن، فاصله از درخت و عمق خاک بر الف) واکنش خاک و ب) تنفس میکروبی**

(براساس آزمون Tukey میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.)

## نتیجه‌گیری

از آنجا که درختان از طریق سیستم ریزوسفر و تاج پوشش تاثیر بسزایی بر ویژگی‌های خاک و حفاظت و بهبود کیفیت خاک دارند. در این پژوهش اثر ریشه‌دوانی و سایه‌انداز درختان پسته بر برخی ویژگی‌های خاک در باغ‌های با سنین مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بررسی اثر ریشه‌دوانی، سن و تاج‌پوشش درختان پسته بر برخی ویژگی‌های خاک منطقه ی مطالعاتی نشان داد که واکنش خاک با افزایش سن باغ‌ها و

افزایش فاصله از درخت به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. روند تغییرات پتاسیم قابل استفاده در باغ‌های با سنین مختلف مشابه تغییرات درصد رس بود و بیش‌ترین میزان پتاسیم قابل استفاده برای باغ ۹ ساله با بیش‌ترین میزان رس به‌دست آمد. با افزایش فاصله از درخت و عمق خاک، مقادیر کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده روند کاهشی معنی‌دار نشان دادند. با افزایش فاصله از درخت و عمق خاک، میانگین تنفس میکروبی کاهش یافت. در نهایت بر اساس نتایج حاصل می‌توان اظهار کرد که ویژگی‌های خاک در عمق سطحی فاصله نیم‌سایه‌انداز بیش‌تر تحت تأثیر درختان پسته بوده است؛ به‌عبارتی آثار مثبت سن باغ‌ها از طریق گسترش تاج پوشش و افزایش مواد مغذی در خاک نیم‌سایه‌انداز نمایان گردیده‌است. از طرفی می‌توان اظهار داشت که جذب ریشه درختان پسته از قسمت انتهایی سایه‌انداز صورت می‌پذیرد که منجر به کاهش مواد غذایی و تفاوت بین ویژگی‌های خاک نیم‌سایه‌انداز و تمام‌سایه‌انداز شده‌است.

## فهرست منابع


۱. ابراهیمی میمند، فاطمه، لندی، احمد و زین الدینی، علی،۱۳۹۰. بررسی تاثیر کشت و کار با آب شور بر خصوصیات خاک و تکامل پروفیلی خاک‌ها. اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی،کرج. https://civilica.com/doc/173332

۲. ابراهیمی میمند، فاطمه، ۱۳۸۸.بررسی تأثیر شوری آب آبیاری روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اراضی با سنوات کشت مختلف در دشت رباط شهربابک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز. https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/7d1952621a2bb73a49305ae3064d680d/search/1ae582315fe8f10e57ce66cd283ac969

۳. آمارنامه کشاورزی، محصولات باغبانی، ۱۴۰۲. صص. ۸۱-۸۲.

۴. بازگیر، مسعود و مقصودی، زیبا، ۱۳۹۸. ویژگی های بیولوژیکی خاک‌های بیابانی تحت تاج پوشش درختچه‌های گز طبیعی (*Tamarix ramosissima Ledeb.*). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۶(۵ )، صص. ۱۸۱-۱۹۵. SID. https://sid.ir/paper/405436/fa

۵. جباری، اکبر، ۱۳۸۸. تحلیلی بر پیامدهای فضایی-مکانی و اقتصادی کشت پسته در روستاهای شهرستان شهربابک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه سیستان.

۶. جعفری، فاطمه، عسگری، حمیدرضا و حسینعلی‌زاده، محسن،۱۳۹۴. بررسی تاثیر تاج پوشش‌های مختلف زیتون بر برخی خصوصیات خاک در یک سیستم آگروفارستری (مطالعه موردی: شهرستان آق‌قلا-استان گلستان). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۲(۶)، صص. ۳۱۷-۳۲۵. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222069.1394.22.6.21.3

۷. رستمی زاد، پرستو، حسینی، وحید و محمدی سمانی، کیومرث،۱۳۹۷. اثر تاج تک درختان بنه (*Pistacia atlantica Desf*) بر میزان عناصر مغذی خاک جنگل (منطقه سروآباد استان کردستان). علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۲(۲ )، صص. ۲۸۳-۲۹۳. SID. https://sid.ir/paper/362207/fa

۸. رضایی نژاد، رضوان، خادمی، حسین، ایوبی، شمس الله و جهانبازی گوجانی، حسن، ۱۳۹۹. تغییرات ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌ها تحت تأثیر ریزوسفر و تاج‌پوشش درختچه‌های بادام وحشی وامچک (*Amygdalus arabica Olive.*) با سنین مختلف. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۴(۲)، صص. ۱۹۷-۲۰۸. SID. https://sid.ir/paper/366169/fa

۹. زاده پاریزی، سمانه، تاج آبادی پور، احمد و اسفندیارپور بروجنی، عیسی، ۱۳۹۹. تأثیر کشت نهال های پسته بر شکل‌های شیمیایی پتاسیم در برخی خاک‌های آهکی رفسنجان. دانش آب و خاک (دانش کشاورزی)، ۳۰(۳)، صص ۱-۱۴. SID. https://sid.ir/paper/411080/fa

۱۰. ساداتی، مهرانگیز سادات، بهشتی آل‌آقا، علی و حامدی، فردین، ۱۴۰۲. اثر رهاسازی اراضی کشاورزی بر برخی خصوصیات بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی خاک. نشریه آب و خاک، ۳۷(۳)، صص. ۳۹۷-۴۱۳. https://www.sid.ir/paper/1358511/fa#downloadbottom

۱۱. ساعدی، شتاو، حبشی، هاشم و حسینی، وحید، ۱۳۹۵. تاثیر تاج پوشش و ریشه‌دوانی گونه‌های ۴۳ ساله جنگل‌کاری حسن آباد سنندج بر تغییر ویژگی‌های خاک. اکوسیستم‌های طبیعی ایران ۷(۱)، صص.۵۷-۶۸. SID. https://sid.ir/paper/215241/fa

۱۲. سجادی، مهری، زین الدینی، علی و محمودی، شهلا، ۱۳۹۰. تأثیر کیفیت آب آبیاری برخصوصیات خاک و عملکرد پسته در دشت رباط شهربابک. علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۲(۷)، صص. ۳۶-۴۵. sid.ir/FileServer/JF/5004313910704

۱۳. فرهادی، حسن، شریفانی، محمد مهدی، علیزاده، مهدی، حکم‌آبادی، حسین و علی‌نیایی‌فرد، ساسان، ۱۳۹۹. ارزیابی برخی صفات رویشی و فیزیولوژیکی دانهال‌های پسته گونه اهلی در تلاقی‌های کنترل شده با دانه گرده گونه اینتگریما به منظور دسترسی به ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی. علوم باغبانی، ۴۲(۲)، صص. ۳۰۳-۳۱۹. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20084730.1399.34.2.9.4

14. Alef, K., Nannipieri, P., 1995. Methods in applied soil microbiology and biochemistry, London San Diego: Academic Press, c1995.

15. Allison, L., Moodie, C., 1965. Carbonate. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties 9, 1379-1396.

16. B. Diallo, M., Akponikpè, P.I., Fatondji, D., Abasse, T., Agbossou, E.K., 2019. Long-term differential effects of tree species on soil nutrients and fertility improvement in agroforestry parklands of the Sahelian Niger. Forests, Trees and Livelihoods 28(4), 240-252.

17. Behera, S.K., Shukla, A.K., Suresh, K., Manorama, K., Mathur, R.K., Kumar, A., Harinarayana, P., Prakash, C ,.Tripathi, A., 2020. Oil palm cultivation enhances soil pH, electrical conductivity, concentrations of exchangeable calcium, magnesium, and available sulfur and soil organic carbon content. Land Degradation & Development 31(18), 2789-2803.

18. Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. Agronomy journal 54(5), 464-465.

19. Bremner, J.M., 1996. Nitrogen-total. Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods 5, 1085-1121.

20. Cools, N., Vesterdal, L., De Vos, B ,.Vanguelova, E., Hansen, K., 2014. Tree species is the major factor explaining C: N ratios in European forest soils. Forest Ecology and Management 311, 3-16.

21. Curtin, D., H. Steppuhn and F. Selles. 1994. Effects of magnesium on cation selectivity and structural stability of sodic soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 730-737.

22. De Wandeler, H., Bruelheide, H., Dawud, S.M., Dănilă, G., Domisch, T., Finér, L., Hermy, M., Jaroszewicz, B., Joly, F.-X., Müller, S., 2018. Tree identity rather than tree diversity drives earthworm communities in European forests. Pedobiologia 67, 16-25.

23. Desta, K.N., Lisanenwork, N., Muktar, M ,.2018 .Physico-chemical properties of soil under the canopies of Faidherbia albida (Delile) A. Chev and Acacia tortilis (Forssk.) Hayen in park land agroforestry system in Central Rift Valley, Ethiopia. Journal of Horticulture and Forestry 10(1), 1-8.

24. Ekka, A.A., Kumar, D., Singh, A.P., Singh, A., 2017. Variation in physico-chemical properties of soil under different agri-horti system in Vindhyan region. Journal of Applied and Natural Science 9(2), 1187-1193.

25. Etafa, A.T., 2022. Effect of dominant shade tree species on selected soil physicochemical properties and coffee production in Sayyo district, western Ethiopia. Trees, Forests and People 8, 100245.

26. Garg, S., Joshi, R.K., Garkoti, S.C., 2022. Effect of tree canopy on herbaceous vegetation and soil characteristics in semi-arid forests of the Aravalli hills. Arid Land Research and Management 36(2), 224-242.

27. Ghiri ,M.N., Abtahi, A., Jaberian, F., Owliaie, H., 2010. Relationship between soil potassium forms and mineralogy in highly calcareous soils of southern Iran. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 4(3), 434-441.

28. Heil, D. and G. Sposito. 1995. Organic matter role in illitic soil colloids flocculation. III. Scanning force microscopy. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 266-264.

29. Hosseinifard, S.J., Khademi, H., Kalbasi, M., 2010. Different forms of soil potassium as affected by the age of pistachio (Pistacia vera L.) trees in Rafsanjan, Iran. Geoderma 155(3-4), 289-297.

30. Knudsen, D., Peterson, G., Pratt, P., 1983. Lithium, sodium, and potassium. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties 9, 225-246.

31. Kooch, Y., Bayranvand, M., 2017. Composition of tree species can mediate spatial variability of C and N cycles in mixed beech forests. Forest Ecology and Management 401, 55-64.

32. Liu, J., Gou, X., Zhang, F., Bian, R., Yin, D., 2021a. Spatial patterns in the C: N: P stoichiometry in Qinghai spruce and the soil across the Qilian Mountains, China. Catena 196, 104814.

33. Liu, P., Wang, W., Bai, Z., Guo, Z., Ren, W., Huang, J., Xu, Y., Yao, J., Ding, Y., Zang, R., 2021b. Nutrient loads and ratios both explain the coexistence of dominant tree species in a boreal forest in Xinjiang, Northwest China. Forest Ecology and Management 491, 119198.

34. Mesfin, S., Haileselassie, H., 2022. Evaluation of soil physico-chemical properties as affected by canopies of scattered agroforestry trees on croplands. South African Journal of Plant and Soil 39(2), 153-162.

35. Nelson, D.W., Sommers, L., 1974. A rapid and accurate procedure for estimation of organic carbon in soils, Proceedings of the Indiana Academy of Science, pp. 456-462.

36. Olsen, S.R., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Department of Agriculture.

37. Otero, X. L., A. Gonzalez-Guzman, V. S. Souza-Junior, A. Perez-Alberti and F. Macías. 2015. Soil processes and nutrient bioavailability in the rhizosphere of *Bolax gummifera* in a subantarctic environment (Martial Mountains, Ushuaia-Argentina). *Catena* 133: 432-440.

38. Pawlik, Ł., Gruba, P., Gałązka, A., Marzec-Grządziel, A., Kupka, D., Szopa, K., Buma, B., Šamonil, P., 2023. Weathering and soil production under trees growing on sandstones–The role of tree roots in soil formation. Science of The Total Environment 902, 166002.

39. Plaster, E., 1985. Soil Science and Management Delmar Publishers. Albany.

40. Portella, C.M.R., Guimarães, M.d.F., Feller, C., Fonseca, I.C.d.B., Tavares Filho, J., 2012. Soil aggregation under different management systems. Revista Brasileira de Ciência do Solo 36, 1868-1877.

41. Rey Benayas, J.M., Martins, A., Nicolau, J.M., Schulz, J.J ,.2007 . Abandonment of agricultural land: an overview of drivers and consequences. CABI Reviews (2007), 14 pp.

42. Rhoades, J., van Schilfgaarde, J., 1976. An electrical conductivity probe for determining soil salinity. Soil Science Society of America Journal40(5), 647-651.

43. SADEGHI, S.T., Jankju, M., Mesdaghi, M., 2013. Effects of shrub canopy on the microclimate and soil properties of steppe rangeland .Journal of Rangeland Science. 3(3), 213-222.

44. Schelfhout, S., Mertens, J., Verheyen, K., Vesterdal, L., Baeten, L., Muys, B., De Schrijver, A., 2017. Tree species identity shapes earthworm communities. Forests 8(3), 85.

45. Schofield, R., Taylor, A.W., 1955. The measurement of soil pH. Soil Science Society of America Journal 19(2), 164-167.

46. Shahrokh, V., Khademi, H., Faz Cano, A., Acosta, J., 2019. Different forms of soil potassium and clay mineralogy as influenced by the lemon tree rhizospheric environment. International Journal of Environmental Science and Technology 16(8), 3979-3988.

47. Slade, H., Wells, L., 2022. Soil quality enhancement with orchard age in pecan orchards of the southeastern US coastal plain. HortScience 57(9), 1099-1105.

48. Taghizadeh-Alisaraei, A., Assar, H.A., Ghobadian, B., Motevali, A., 2017. Potential of biofuel production from pistachio waste in Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews 72, 510-522.

49. Turpault, M.-P., Uterano, C., Boudot, J.-P., Ranger ,J., 2005. Influence of mature Douglas fir roots on the solid soil phase of the rhizosphere and its solution chemistry. Plant and soil 275, 327-336.

50. Van Nevel, L., Mertens, J., Demey, A., De Schrijver, A., De Neve, S., Tack, F.M., Verheyen, K., 2014. Metal and nutrient dynamics in decomposing tree litter on a metal contaminated site. Environmental Pollution 189, 54-62.

51. Wang, H., Gao, J.-e., Li, X.-h., Zhang, S.-l., Wang, H.-j., 2015. Nitrate accumulation and leaching in surface and ground water based on simulated rainfall experiments. PLoS One 1 (8) ,e0136274.

52. Wilkinson, J., 2005. Nut grower's guide: the complete handbook for producers and hobbyists. CSIRO PUBLISHING.

53. Wu, X., Xu, H., Tuo, D., Wang, C., Fu, B., Lv, Y., Liu, G., 20 .۲۰Land use change and stand age regulate soil respiration by influencing soil substrate supply and microbial community. Geoderma 359, 113991.

54. Yin, X., Zhao, L., Fang, Q., Ding, G., 2021. Differences in soil physicochemical properties in different-aged Pinus massoniana plantations in southwest China. Forests 12(8), 987.

55. Yoder, R.E., 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses.

56. Zhang, K., Su, Y., Wang, T., Liu, T., 2016. Soil properties and herbaceous characteristics in an age sequence of Haloxylon ammodendron plantations in an oasis-desert ecotone of northwestern China. Journal of Arid Land 8, 960-972.

57. Zhao, Z., Chu, C., Zhou, D., Sha, Z., Wu, S., 2019. Soil nutrient status and the relation with planting area, planting age and grape varieties in urban vineyards in Shanghai. Heliyon 5(8), e02362.