

(OPEN ACCESS)

Evaluation of yield, yield components, quality characteristics and light interception of German chamomile in intercropping with poplar trees

Fatemeh Ahmadloo*

* Corresponding Author, Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: fatemeh_ahmadloo@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Many medicinal plants grow under the canopy of forest trees and are shade-tolerant, so agroforestry can be a suitable and practical strategy for promoting their cultivation and conservation. The agroforestry system is one of the land use systems that affects the soil's physical, chemical and dynamic properties and maintains agricultural sustainability. Little research has been conducted on the productivity of agroforestry systems, especially with medicinal and aromatic plants under a poplar-based Silvi-medicinal system. Accordingly, in the present study, the growth rate, yield, and yield components of chamomile in pure and mixed cultivation with poplar were compared under Karaj conditions.
Article history: Received: 04.13.2025 Revised: 06.02.2025 Accepted: 06.11.2025	
Keywords: Canopy density, Carotenoids, Chlorophyll, Flower yield, Interception light	Materials and Methods: This study was conducted for five consecutive years from 2017 to 2021 to evaluate the yield and essential oil of the medicinal plant German chamomile (<i>Matricaria recutita</i> L.) in an intercropping crop with poplar trees. Chamomile medicinal plant was planted in late autumn 2017 in the Alborz Research Station farm, between the rows of uniform seedlings of poplar (<i>Populus euramericana</i> clone of 92/40). Seedlings of <i>Populus</i> were planted in March 2017 at a distance of 3 m × 4 m. The statistical design of this research was a paired t-test with 2 treatments (chamomile with poplar and chamomile monoculture) in three experimental plots and 6 replications in each plot. Chamomile seeds were sown in five rows with a length of 21 m and 50 cm among rows and 10 cm in rows at a depth of 2 cm of soil, and then field irrigated immediately. During each growing season, poplar seedlings were irrigated once a week until late November, and chamomile plants until early September (before seed maturity). Then, variables of yield and yield components of chamomile, chlorophyll, and carotenoid concentrations, essential oil (%) and essential oil yield, percentage of tree shade density each year, and soil carbon content at two different depths by measuring the percentage of organic carbon and the apparent specific gravity of the soil in the final year were calculated.
	Results: The results showed that the variables of plant height, number of flowers per plant, flower diameter, seed yield, and number of main stems showed statistically significant differences in all years studied and in the

first and second years, the highest amount of these variables was in intercropped cultivation compared to sole cultivation. The amounts of chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll in the second and third years of harvest were higher in sole cultivation than in intercropped cultivation. A comparison of means showed that intercropped cultivation had the highest essential oil (%) in the first year with 0.78% and the lowest essential oil (%) in the third year with 0.41% due to the decrease in amount of light intercepted. The intercropped crop had the highest essential oil yield in the first year with 451.02 kg ha⁻¹ and the lowest essential oil yield in the third year with 116.03 kg ha⁻¹. In the third year of harvest, the amount of light intercepted during the growing months in the intercropped crop was greatly reduced, so that the density of shading created by poplar trees on the chamomile crop was calculated to be 64.5%. The main effect of cultivation type and soil depth and the interaction between these two factors on the rate of soil organic carbon content was significant, and the highest amount was obtained in intercropping at a depth of 30-60 cm.

Conclusion: According to the results of this study, it is possible to grow chamomile under the crown of *P. euramericana* trees for two years, and in the third year, the reduction in interception light will have a severe negative impact on crop yield and if the experimental conditions, such as environmental conditions, type of poplar species, and canopy density, change, the duration of planting chamomile species in the agroforestry system will also change.

Cite this article: Ahmadloo, Fatemeh. 2026. Evaluation of yield, yield components, quality characteristics and light interception of German chamomile in intercropping with poplar trees. *Journal of Plant Production Research*, 33 (2), 147-170.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jopp.2025.23445.3243

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد، ویژگی‌های کیفی و میزان نور دریافتی گیاه دارویی بابونه آلمانی در کشت تلفیقی با درختان صنوبر

فاطمه احمدلو*

* نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

رایانامه: fatemeh_ahmadloo@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: بسیاری از گیاهان دارویی در زیر تاج پوشش درختان جنگلی رشد می‌کنند و در برابر سایه مقاوم هستند، بنابراین می‌توان با استفاده از روش جنگل زراعی، یک راهبرد مناسب و کاربردی را برای ترویج کشت و حفاظت از آن‌ها ارائه داد. نظام جنگل زراعی یکی از نظام‌های کاربری زمین است که بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و پویایی خاک تأثیر می‌گذارد و پایداری کشاورزی را نیز حفظ می‌کند. تحقیقات کمی در مورد بهره‌وری نظام‌های جنگل زراعی، به‌ویژه با گیاهان دارویی و معطر به عنوان محصولات زیرکشت درختان صنوبر انجام شده است. بر این اساس در پژوهش حاضر، مقایسه میزان رشد، عملکرد و اجزای عملکرد بابونه در کشت خالص و تلفیقی با صنوبر در شرایط کرج مورد بررسی قرار گرفت.
واژه‌های کلیدی: تراکم تاج پوشش، عملکرد گل، کاروتنوئید، کلروفیل، نور دریافتی	مواد و روش‌ها: این مطالعه به مدت پنج سال متوالی از سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ با هدف ارزیابی عملکرد و اسانس گیاه دارویی بابونه آلمانی (<i>Matricaria recutita</i> L.) در کشت تلفیقی با درختان صنوبر انجام شد. گیاه دارویی بابونه در اواخر پاییز ۱۳۹۶ در مزرعه ایستگاه تحقیقاتی البرز، بین ردیف‌های نهال‌های یکنواخت صنوبر اورامریکن کلن 92/40 (<i>Populus euramericana</i>) مورد کاشت قرار گرفت. نهال‌های صنوبر در اسفند ماه ۱۳۹۵ به فاصله ۳×۴ متر، کاشته شده بودند. طرح آماری این تحقیق تی تست جفت شده با ۲ تیمار شامل (بابونه با صنوبر و تک‌کشتی بابونه) در سه قطعه آزمایشی و ۶ تکرار در هر قطعه بود. بذرها با بابونه در پنج ردیف به طول ۲۱ متر و با فواصل ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف و با فاصله ۱۰ سانتی‌متر روی ردیف در عمق ۲ سانتی‌متری خاک کشت شدند و بلافاصله آبیاری مزرعه انجام گرفت. در طی هر فصل رویش، نهال‌های صنوبر هر هفته یکبار تا اواخر آبان‌ماه و گیاه بابونه تا اوایل شهریور (قبل از بذردهی) آبیاری شدند. سپس متغیرهای عملکرد و اجزای عملکرد بابونه، غلظت کلروفیل و کاروتنوئید، بازده و عملکرد اسانس، درصد تراکم سایه‌اندازی درختان هر ساله و محتوای کربن خاک در دو عمق مختلف با اندازه‌گیری درصد کربن آلی و وزن مخصوص ظاهری خاک در سال پایانی محاسبه شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که متغیرهای ارتفاع گیاه، تعداد گل در بوته، قطر گل، عملکرد بذر و تعداد ساقه اصلی اختلاف معنی‌دار آماری را در همه سال‌های مورد مطالعه نشان دادند و در سال‌های اول و دوم، بیش‌ترین مقدار این متغیرها در کشت تلفیقی نسبت به کشت خالص وجود داشت. مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل برگ در سال‌های دوم و سوم برداشت در کشت خالص بیش‌تر از کشت تلفیقی بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کشت تلفیقی در سال اول با ۰/۷۸ درصد بالاترین مقدار اسانس و در سال سوم با ۰/۴۱ درصد کم‌ترین میزان تولید اسانس را به دلیل کاهش میزان نور دریافتی داشته است. کشت تلفیقی در سال اول با ۴۵۱/۰۲ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد اسانس و در سال سوم با ۱۱۶/۰۳ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین میزان عملکرد اسانس را داشته است. در سال سوم برداشت، میزان نور دریافتی در ماه‌های رویش در کشت تلفیقی بسیار کاهش یافت به‌طوری‌که تراکم سایه‌اندازی درختان صنوبر روی محصول زیرکشت بابونه به میزان ۶۴/۵ درصد محاسبه شد. اثر اصلی نوع کشت و عمق خاک و اثر متقابل این دو عامل بر میزان محتوای کربن آلی خاک معنی‌دار شده است و بیش‌ترین مقدار آن در کشت تلفیقی در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری به دست آمده است.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج تحقیق حاضر تا دو سال امکان کشت بابونه در زیر تاج درختان صنوبر اورامریکن وجود دارد و در سال سوم به شدت کاهش نور روی عملکرد محصول تأثیر منفی گذاشته است و اگر شرایط آزمایش مانند شرایط محیطی، نوع گونه صنوبر و تراکم تاج پوشش تغییر نماید مدت زمان کاشت گونه بابونه در نظام جنگل زراعی نیز تغییر می‌کند.

استناد: احمدلو، فاطمه (۱۴۰۵). ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد، ویژگی‌های کیفی و میزان نور دریافتی گیاه دارویی بابونه آلمانی در کشت تلفیقی با درختان صنوبر. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۳ (۲)، ۱۷۰-۱۴۷.

DOI: 10.22069/jopp.2025.23445.3243



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

تقاضای روزافزون چوب و مواد اولیه گیاهی بر زمین و منابع گیاهی موجود فشار وارد کرده است. برای بهبود بهره‌وری تولید و پایداری گیاهان دارویی، می‌توان این منابع ارزشمند گیاهی را از طریق کشت در فضای بین درختان حفظ کرد. ادغام گونه‌های درختی چندمنظوره در زمین‌های کشاورزی با محصولات زراعی و دارویی با ارزش بالا و درآمد آنی و پرسود، گامی معقول برای متنوع‌سازی نظام‌های کشاورزی و بهبود بازده اقتصادی است. رشد همزمان محصولات زراعی و درختان تحت شیوه مدیریت جنگل زراعی، شکاف بین تقاضا و عرضه محصولات را در کشورهایی با جمعیت زیاد کاهش می‌دهد (۱). استفاده از منابع مورد نیاز گیاه مانند نور، آب و مواد مغذی خاک را می‌توان از طریق جنگل زراعی و مدیریت کشت‌های تلفیقی بهینه کرد (۲). درختان بیش‌تر تشعشعات، رطوبت نسبی، غلظت دی اکسید کربن، سرعت باد و محیط خاک را برای محصول اصلاح می‌کنند که با ایجاد خرد اقلیم بر بهره‌وری محصول تأثیر مثبت می‌گذارند (۳). ارتباطات زیستی بین اجزای چوبی و مرتبط در این نظام‌های چندمنظوره وجود دارد. در سال‌های اخیر، تأکید بر تنوع و تغییر از محصولات سنتی به سمت محصولات با ارزش نقدی بالا مانند گیاهان دارویی و معطر، فرصتی برای رشد این گیاهان به عنوان محصولات جدید و جایگزین توسط کشاورزان نوظهور روستایی می‌دهد. کشت گیاهان دارویی باید به عنوان یکی از گزینه‌های توسعه اقتصادی و پایدار محلی از طریق ایجاد شغل، احیای اقتصاد روستایی و درآمدزایی ترویج شود. کشت گیاهان دارویی و معطر با گونه‌های چوبی تجاری مانند صنوبر می‌تواند گزینه مناسبی برای افزایش بازده اقتصادی کشاورزان باشد (۴). در این راستا، گیاه بابونه به دلیل سازگاری بالا با شرایط

مختلف آب و هوایی کشور و دارا بودن انعطاف‌پذیری زیستی، می‌تواند گزینه مناسبی به عنوان محصول کشت‌های تلفیقی با درختان باشد. گیاه دارویی بابونه با نام علمی *Matricaria recutita* از خانواده Asteraceae به دلیل دارا بودن ترکیبات مؤثره در صنایع داروسازی، آرایشی و بهداشتی کاربرد دارد و در سرتاسر جهان برای به دست آوردن اسانس از سر گل‌ها کشت می‌شود. بابونه به عنوان ستاره‌ای در میان گیاهان دارویی مطرح بوده و نام این گیاه در فارماکوپه‌های ۲۶ کشور جهان وجود دارد (۵).

یکی از پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی در اروپا، خاورمیانه، شمال اروپا، استرالیا و آمریکای شمالی بابونه آلمانی است. پراکنش جهانی آن در اروپا، ترکیه، ایران، قفقاز، آسیای مرکزی، سبیری، افغانستان و عراق گزارش شده است (۶). بابونه در بسیاری از کشورها مانند آرژانتین، مصر، فرانسه، آلمان، مجارستان و یوگسلاوی سابق به صورت یک گیاه زراعی کشت می‌شود (۷). در سراسر جهان، تقریباً ۲۰۰۰۰ هکتار از گل‌های بابونه رشد می‌کنند (۸). مصرف سالیانه بابونه در جهان بیش از ۴۰۰۰ تن گل خشک بوده که بیش‌تر آن را بابونه آلمانی تشکیل می‌دهد. با توجه به اهمیت مصرف گیاه دارویی و صنعتی بابونه و نیاز به تولید آن در سطح مطلوب و از طرفی اهمیت درختان صنوبر در تأمین نیازهای چوبی کشور و افزایش بهره‌وری از منابع محیطی، ضروری است که پتانسیل تولید گیاه بابونه با کشت در ردیف‌های بین درختان صنوبر مورد آزمایش قرار گیرد. صنوبرها با موفقیت، در کشت تلفیقی دالانی با گیاهان دارویی مانند بابونه آلمانی (۹)، گل انگشتانه، بابونه آلمانی و مریم‌گلی (۱۰)، گشنیز و شنبلیله (۱۱)، علف لیمو، جعفری، زردچوبه، کرفس، گشنیز، رازیانه، شوید، شنبلیله، نعنای، کلزا و گندم (۱۲) و علف لیمو (۱۳) در فواصل کاشت مختلف، بررسی شده‌اند. دستیابی به میزان رشد، تولید

و درآمد بیش‌تر با کشت‌های تلفیقی در منابع مختلف علمی به اثبات رسیده است.

رشد درخت صنوبر، عملکرد زردچوبه، کربن آلی خاک و وضعیت مواد مغذی نظام‌های جنگل زراعی درختان صنوبر با زیرکشت ده رقم زردچوبه (*Curcuma longa* L.) توسط بیجکل و همکاران (۲۰۱۹) در دانشگاه کشاورزی لودهیانا، پنجاب در کشور هند مورد ارزیابی قرار گرفت (۱۴). همه ارقام زردچوبه در کشت خالص عملکرد بالاتری نسبت به زیر کشت صنوبر داشتند. میانگین افزایش ۵/۷۳ درصدی در محتوای کورکومین در زردچوبه هنگام رشد در زیرکشت صنوبر در مقایسه با زردچوبه رشد یافته در کشت خالص ثبت شد. همچنین تحقیق سینگ و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از چهار رقم نعنای (*Mentha arvensis*) در نظام جنگل زراعی بر پایه صنوبر (*Populus deltoides*) و در کشت خالص برای ارزیابی اثر متقابل بر رشد، عملکرد و متغیرهای اقتصادی ارقام نعنای انجام شد (۱۵). بیش‌ترین متغیرهای رشد و عملکرد محصول نعنای در کشت خالص وجود داشت. بیش‌ترین محتوای روغن ۱/۲۱ و ۱/۲۷ درصد در رقم CIM Kranti در برداشت اول و دوم در کشت خالص مشاهده شد. تلفیق صنوبر با نعنای میانگین مشخصه‌های قطر در ارتفاع برابر سینه را ۴/۱ درصد، ارتفاع را ۴/۷ درصد و حجم را ۱۲/۳ درصد افزایش داد. در تحقیق سینگ و همکاران (۲۰۲۲) ترکیب شیمیایی اسانس‌های جدا شده از ساقه نعنای رشد یافته در کشت تلفیقی با درختان صنوبر و در کشت خالص، مقایسه شدند (۱۵). نتایج آن‌ها نشان داد که اسانس گیاهان نعنای در کشت خالص به میزان ۱۱/۷ درصد غنی‌تر در منتون (menthone) بود، در حالی که روغن تولید شده از گیاهان نعنای در کشت تلفیقی به میزان ۷۸/۲ درصد غنی‌تر در منتول (menthol) بود. مطالعات نشان داده

است که محصولات معطر سیترونلا، علف لیمو، پالماروزا و نعنای منتول را می‌توان در بین ردیف‌های نهال‌های صنوبر و اکالیپتوس کشت کرد (۱۶). بیش‌ترین ارتفاع، تعداد جوانه و بیش‌ترین عملکرد گونه علف لیمو (*Cymbopogon flexuosus*) در تلفیق با *P. deltoides* نتیجه گرفته شد (۱۳). جوشی و همکاران (۲۰۱۸) چهار گونه از نعنای را در کشت تلفیقی با صنوبر و به صورت خالص بررسی کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که پارامترهای رویشی گونه‌های مختلف نعنای مانند ارتفاع بوته و قطر تاج پوشش در کشت خالص در مقایسه با کشت تلفیقی، بیش‌تر بود. (۱۷).

با توجه به تأکیدی که کشاورزی پایدار بر افزایش کیفیت و پایداری عملکرد دارد و با توجه به اهمیت تولید چوب به‌عنوان محصول راهبردی کشور و تولید گیاه دارویی بابونه به‌منظور سودآوری کشاورزی در مقیاس کوچک و رویکرد جهانی در تولید گیاهان به‌سمت استفاده از نظام‌های کشاورزی پایدار، تحقیق حاضر با هدف مقایسه میزان رشد، عملکرد و اجزای عملکرد بابونه در کشت خالص و تلفیقی با صنوبر برای دستیابی به درآمد بیش‌تر در واحد سطح روستائیان، تشویق کشاورزان به کشت تلفیقی با کسب نتایج علمی - عملی مبتنی بر افزایش عملکرد و محتوای کربن خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: تحقیق حاضر در ایستگاه تحقیقاتی منابع طبیعی البرز (عرصه تحقیقاتی صنوبر و درختان سریع‌الرشد مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور) در جنوب شهر کرج و در حدود ۷ کیلومتری از مرکز شهر با موقعیت جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۳۰۰ متر از سطح

دریا انجام شد. بر اساس آمار هواشناسی، میانگین بارندگی سالانه ۲۵۰ میلی‌متر، حداقل مطلق درجه حرارت ۲۱/۷- درجه سانتی‌گراد، حداکثر مطلق درجه حرارت ۴۱ درجه سانتی‌گراد، میانگین درجه حرارت ۱۳/۷ درجه سانتی‌گراد، ضریب خشکی ۹/۵ (طبق فرمول دو مارتن) و جزو طبقه آب و هوایی نیمه خشک است. خاک ایستگاه از رسوبات آبرفتی شنی رسی با عمق متوسط ۷۰ سانتی‌متر تشکیل شده و به‌طور کلی خاک سبکی است و اسیدیته آن برابر ۸ و هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع ۰/۷۶ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد و فاقد شوری و گچ و آهک است. در فاصله ماه‌های اردیبهشت تا مهر دوره خشک در منطقه حاکم بوده و اواسط مهرماه با افزایش بارش دوره تر در منطقه آغاز می‌شود (۱۸).

روش تحقیق: تحقیق حاضر در زمینی به مساحت تقریبی ۱۵۰۰ مترمربع به مدت پنج سال انجام شد. ابتدا در سال ۱۳۹۴ قلمه کافی از صنوبر اورامریکن کلن 92/40 (*Populus euramericana*) از بخش تحقیقات صنوبر و درختان سریع‌الرشد مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه و به تعداد مورد نیاز، نهال در خزانه ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی البرز تولید شد و سپس نهال‌های سالم و باکیفیت و یکنواخت صنوبر در اسفند ماه ۱۳۹۵ به فاصله ۳×۴ متر (فاصله بین ردیف‌ها ۴ متر و داخل ردیف‌ها ۳ متر)، کشت شدند. در این تحقیق گیاه دارویی بابونه (*Matricaria recutita* L.) در اواخر پاییز ۱۳۹۶، بین ردیف‌های نهال‌های یکنواخت صنوبر اورامریکن کلن 92/40 (*P. euramericana*) کاشته شد. عملیات آماده‌سازی کاشت در زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح در اواسط پاییز ۱۳۹۶ انجام شد. سپس به میزان ۴۰ تن در هکتار از کود پوسیده گاوی استفاده و با خاک مخلوط شد. این آزمایش بر اساس طرح آماری تی‌تست جفت شده با ۲ تیمار شامل:

بابونه با صنوبر و تک‌کشتی بابونه در سه قطعه آزمایشی و ۶ تکرار در هر قطعه اجرا شد. در کشت تلفیقی بابونه با صنوبر در هر تکرار در یک قطعه آزمایشی، تعداد ۴۲ اصله نهال صنوبر کاشته شد (در مجموع تعداد ۲۵۲ اصله نهال صنوبر در هر قطعه آزمایشی) و مساحت ۲۵۰ مترمربع نیز برای گونه خالص بابونه مورد کاشت قرار گرفت. در هر سال کاشت بذره‌های بابونه، پس از شخم‌زدن و تسطیح زمین در ردیف‌های بین صنوبر، ابتدا اقدام به درآوردن فارو یا جویچه (خطوط نهر کاشت) در پنج ردیف به طول ۲۱ متر و با فواصل ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف در هر سه بلوک شد. در طی سه سال در آبان ۱۳۹۶، آبان ۱۳۹۷ و آبان ۱۳۹۸، بذور مخلوط شده بابونه با ماسه الک شده با فاصله ۱۰ سانتی‌متر روی ردیف در عمق ۲ سانتی‌متری خاک کشت شدند و بلافاصله آبیاری مزرعه انجام گرفت. در طی هر فصل رویش، نهال‌های صنوبر هر هفته یکبار تا اواخر آبان‌ماه و گیاه بابونه تا اوایل شهریور (قبل از بذردهی) آبیاری شدند. با توجه به این‌که هیچ آفت و بیماری خاصی در مزرعه مشاهده نشد عملیات مبارزه با آفات و بیماری‌ها نیز انجام نشد. عملیات داشت مانند وجین علف‌های هرز به دفعات مورد نیاز و به‌صورت دستی و مکانیزه در ردیف‌های درختان انجام گرفت.

اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد: در رابطه با ارتفاع بوته، تعداد ساقه اصلی، تعداد گل در بوته و عملکرد گل، در زمان گلدهی کامل (زمانی که بیش از ۸۰ درصد بوته‌های هر قطعه آزمایشی به گل رفته بودند)، از هر قطعه آزمایشی تعداد ۶ بوته منتخب تصادفی با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای (در کل شش قطعه از هر تکرار) مورد ارزیابی قرار گرفت. ارتفاع بوته (با خط‌کش مدرج) اندازه‌گیری شد. هم‌چنین با توجه به این‌که بابونه دارای رشد نامحدود می‌باشد و غنچه‌های آن به‌صورت روزانه باز می‌شوند، هر هفته

نسبت به برداشت گل‌ها اقدام شد. در هر نوبت برداشت گل، تعداد گل در هر قطعه آزمایشی شمارش شده و میانگین آن به عنوان تعداد گل در بوته چین اول در نظر گرفته شد و تا چین آخر (چین سوم) بدین ترتیب عمل شد و مجموع تعداد گل در همه چین‌ها، به عنوان تعداد گل در بوته ثبت شد. بعد از برداشت هر چین گل‌ها به مدت یک هفته خشک و پس از توزین، عملکرد گل محاسبه گردید.

رنگدانه‌های فتوسنتزی

محتوای کلروفیل a و b و کاروتنوئید: برای تعیین غلظت کلروفیل و کاروتنوئید از روش بارنز و

همکاران (۱۹۹۲) استفاده شد (۱۹). ابتدا ۰/۵ گرم نمونه برگ تازه از هر نوع کشت در ۱۰ میلی‌لیتر دی متیل سولفوکساید (DMSO) قرار داده شد و در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت سه ساعت انکوبه شد تا رنگدانه‌ها استخراج و بافت برگ کاملاً بی‌رنگ شود. از نمونه به دست آمده ۲۵۰ میکرولیتر گرفته شد و مجدداً ۲ میلی‌لیتر DMSO به آن اضافه شد. نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر خوانده شدند. کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید به ترتیب در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳، ۴۸۰ و ۵۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند. مقادیر به دست آمده براساس رابطه‌های ۱ تا ۴ تعیین شدند.

$$\text{Chl a (mg/g. F.w)} = 12.7 (A663) - 2.69 (A645) \times V/1000 \times W \quad (۱)$$

$$\text{Chl b (mg/g. F.w)} = 22.7 (A645) - 4.68 (A663) \times V/1000 \times W \quad (۲)$$

$$\text{Chl total (mg/g. F.w)} = 20.2 (A645) - 8.02 (A663) \times V/1000 \times W \quad (۳)$$

$$\text{Carotenoids (mg/g. F.w)} = 7.6 (A480) - 1.49 (A510) \times V/1000 \times W \quad (۴)$$

در این معادله‌ها، Chl a (mg/g. F.w) میلی‌گرم کلروفیل a در هر گرم وزن تر، Chl b (mg/g. F.w) میلی‌گرم کلروفیل b در هر گرم وزن تر، Chl total (mg/g. F.w) میلی‌گرم کلروفیل کل در هر گرم وزن تر، Carotenoids (mg/g. F.w) میلی‌گرم کلروفیل کل در هر گرم وزن تر، A طول موج، V حجم نهایی محلول و W وزن نمونه.

استخراج اسانس: به منظور تعیین مقدار اسانس گل، بعد از برداشت گل‌ها و خشک کردن در سایه از هر

قطعه آزمایشی یک نمونه تصادفی تهیه کرده (۱۰۰ گرم از مواد گیاهی خشک از هر یک از کشت‌های تلفیقی و خالص در هر قطعه) که بعد از آسیاب، به وسیله دستگاه کلونجر و با استفاده از روش تقطیر با آب، اسانس‌گیری شد (۲۰). بازده اسانس (درصد) نیز پس از رطوبت‌زدایی آب آن توسط سولفات سدیم خشک، براساس رابطه ۵ محاسبه شد. بعد از تعیین بازده اسانس، عملکرد آن نیز به کمک حاصلضرب عملکرد گل و بازده اسانس محاسبه گردید.

$$۱۰۰ \times \text{وزن زیست توده خشک هوایی (گرم)} / \text{وزن اسانس (گرم)} = \text{بازده اسانس (\%)} \quad (۵)$$

$$\text{وزن زیست توده خشک هوایی (کیلوگرم در هکتار)} / \text{بازده اسانس (\%)} = \text{عملکرد اسانس (کیلوگرم در هکتار)} \quad (۶)$$

میزان نور دریافتی: میزان نور دریافتی محصول زیرکشت بایونه در دوره رویش در دو کشت تلفیقی و خالص در طی سه سال برداشت توسط دستگاه اندازه‌گیری نور (لوکس‌متر دیجیتال سم مدل CEM DT-856A) در ساعت ۱۲ ظهر در طی ماه‌های رویش (روزانه به‌طور مرتب) اندازه‌گیری و میانگین آن محاسبه شد.

درصد تراکم سایه‌اندازی درختان: قطر تاج با استفاده از نوار متری در هر دو محور X و Y درخت (قطر بزرگ و کوچک تاج پوشش) اندازه‌گیری و متوسط قطر تاج به دست آمد. سپس مساحت تاج با استفاده از فرمول مساحت دایره ($A=\pi r^2$) محاسبه شد. درصد سایه ایجاد شده توسط تاج پوشش درختان صنوبر نیز مطابق با رابطه ۷ به‌دست آمد (۱۵):

$$(۷) \quad ۱۰۰ \times \text{سطح کل زمین} / \text{سطح کل تاج پوشش} = \text{درصد تراکم سایه‌اندازی درختان}$$

ارزیابی محتوای کربن خاک: برای ارزیابی تأثیر نوع کشت روی محتوای کربن خاک، در سال پنجم (سال پایانی تحقیق) با حفر پنج پروفیل در عرصه کشت تلفیقی و عرصه خالص بایونه از دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری، نمونه‌برداری خاک توسط اوگر انجام شد. سپس نمونه‌های هر عمق با هم مخلوط شدند. وزن مخصوص ظاهری خاک در چهار تکرار

به روش کلوخه به‌دست آمد. همچنین درصد کربن آلی خاک با استفاده از روش والکی-بلاک اندازه‌گیری شد (۲۱). پس از تعیین وزن مخصوص ظاهری نمونه‌های خاک، محتوای کربن آلی خاک بر حسب کیلوگرم در هکتار مطابق با رابطه ۸ محاسبه شد (۲۲) و سپس به تن در هکتار تبدیل شد.

$$(۸) \quad C_s = 10000 \times OC (\%) \times WS \times D$$

که، C_s مقدار محتوای کربن آلی خاک (کیلوگرم در هکتار)، OC درصد کربن آلی، WS وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب) و D عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر).

مختلف خاک تحت تأثیر نوع کشت در سال پایانی تحقیق (۵ سال پس از کاشت درخت صنوبر) از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه و برای مقایسه میانگین‌ها در صورت همگنی واریانس‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

برای هر یک از داده‌های هر دوره برداشت (سال اول، دوم و سوم) به صورت جداگانه، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در قالب طرح آماری تی‌تست جفت شده با استفاده از آزمون تی (T) در دو نظام کشت تلفیقی و خالص با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام گرفت. ابتدا شرط توزیع نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس داده‌ها با آزمون لون انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد. برای تعیین تفاوت آماری داده‌های مقایسه محتوای کربن در دو عمق

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد: متغیرهای ارتفاع گیاه، تعداد گل در بوته، قطر گل، عملکرد بذر و تعداد ساقه اصلی اختلاف معنی‌دار آماری را در همه سال‌های مورد مطالعه نشان دادند (جدول ۱). عملکرد گل تازه و عملکرد گل خشک در سال اول و دوم اختلاف معنی‌دار آماری را بین کشت تلفیقی و خالص نشان نداد.

جدول ۱- نتایج آزمون تی بین عملکرد و اجزای عملکرد گیاه بابونه در کشت تلفیقی و خالص در طی سه سال برداشت.

Table 1. Results of T-test between yield and yield components of chamomile plant in intercropped and sole cultivation during three years of harvest.

تعداد ساقه اصلی در یک مترمربع Number of main stems per square meter	عملکرد بذر Seed yield	عملکرد گل خشک Dried flower yield	عملکرد گل تازه Fresh flower yield	قطر گل Flower diameter	تعداد گل در بوته Number of flowers per plant	ارتفاع بوته Height	منابع تغییرات Sources of variation	زمان Time
0.001**	0.022*	0.102 ^{ns}	0.032*	0.044*	0.011*	0.000**	معنی‌داری Sig.	سال اول First year
4.495	3.261	1.8	2.498	2.671	3.126	6.21	آماره t	
0.000**	0.026*	0.006**	0.095 ^{ns}	0.035*	0.000**	0.000**	معنی‌داری Sig.	سال دوم Second year
9.244	2.61	3.504	1.846	2.438	6.903	8.244	آماره t	
0.001**	0.005**	0.041*	0.004**	0.000**	0.000**	0.006**	معنی‌داری Sig.	سال سوم Third year
-4.55	-3.573	-2.345	-3.719	-6.442	-5.375	3.507	آماره t	

* تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ^{ns} عدم وجود تفاوت معنی‌دار

^{ns} is not significant and * and ** are significant at 5 and 1 percent probability levels, respectively

گزارش دادند (۲۳ و ۲۴). در پژوهش داهیا و همکاران (۲۰۲۲) عملکرد دانه و کاه و عملکرد زیستی در تک‌کشتی گندم به‌طور معنی‌داری در مقایسه با سایر کشت‌های تلفیقی بیش‌تر بود و در بین نظام‌های مختلف کشت تلفیقی، بیش‌ترین عملکرد دانه و کاه در صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) با گندم و کم‌ترین آن در شیشم (*Dalbergia sissoo*) با خردل (*Sinapis alba*) ثبت شد (۲۵). هم‌چنین افزایش عملکرد دانه و کاه در تک‌کشتی جو (*Hordeum vulgare*) و خردل در مقایسه با کشت تلفیقی اکالیپتوس (*Eucalyptus tereticornis*) با جو و شیشم با خردل وجود داشت. در بررسی برگس و همکاران (۲۰۰۵) در حضور درختان، عملکرد در واحد سطح زیر کشت محصولات گندم و جو بهاره، نسبت به عملکرد محصول به صورت تک‌کشتی، به‌طور متوسط ۴ درصد در سه سال اول کاهش داشته

در سال‌های اول و دوم بیش‌ترین متغیرهای ارتفاع گیاه، تعداد گل در بوته، قطر گل، عملکرد بذر و تعداد ساقه اصلی در کشت تلفیقی نسبت به کشت خالص وجود دارد. در سال سوم تمامی متغیرهای مورد مطالعه در کشت خالص بیش‌تر از کشت تلفیقی بود (جدول ۲). در سال سوم برداشت با وجود افزایش تراکم سایه، گیاه ارتفاع خود را برای جذب نور بیش‌تر افزایش داده و در این شرایط بخش بیش‌تری از مواد فتوسنتزی به برگ و ساقه اختصاص یافته و همین امر موجب کاهش تولید گل می‌شود.

مطابق با نتایج تحقیق حاضر، رالهان و همکاران (۱۹۹۲) نیز کاهش شدید عملکرد گندم (*Triticum aestivum*) را در زیر کشت صنوبر سه ساله (۲۳) و ناآگاراجایاه و همکاران (۲۰۱۲) کاهش ارتفاع بوته و تعداد شاخه در هر بوته گونه‌های مختلف نعنار را به دلیل اثر سایه‌اندازی درختان صنوبر

است و دلیل آن را گسترش تاج پوشش درختان و کاهش میزان نور دریافتی محصولات زیرکشت گزارش کردند (۲۶). کاهش ۲۰ تا ۲۵ درصدی عملکرد در واحد سطح زمین برای ذرت در کشت تلفیقی با صنوبر در مقایسه با عملکرد ثبت شده در کشت خالص ذرت در تحقیق تواتاسان و گوردون (۲۰۰۴) پس از چند سال و با گسترش تاج پوشش درختان گزارش شد (۲۷). پراساد و همکاران (۲۰۱۰) کاهش ۴۵ درصدی را برای صفات مختلف عملکرد لوبیا چشم بلبلی تحت نظام جنگل زراعی مبتنی بر اکالیپتوس (*Eucalyptus tereticornis*) در مقایسه با کشت خالص در جنوب هند گزارش کردند (۲۸). کاهش عملکرد بابونه آلمانی در سال سوم در کشت تلفیقی را می‌توان به کاهش فتوسنتز نسبت داد، زیرا وزن خشک یک شاخص قابل اعتماد برای کارایی فتوسنتزی و رشد کلی گیاه است. با توجه به این‌که صنوبر اورامریکن دارای تاج پوشش باز و گسترده است می‌توان از صنوبرهای با رقم تاج بسته استفاده کرد تا نور دریافتی محصولات در زیر تاج پوشش آن‌ها بیش‌تر باشد و بتوان تا چندین سال، کشت محصولات را انجام داد.

برای بوجود آمدن گل، گیاه نیاز به رشد رویشی مناسب و تولید اندام‌های تشکیل‌دهنده آن در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی دارد. عملکرد گل و بذر در گیاه بابونه در مجموع حاصل بر همکنش اجزایی هستند که هر یک از آن‌ها در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی شکل می‌گیرند. نکته مهم در این مورد ایجاد تعادل مناسب بین رشد رویشی و زایشی (در جهت هر چه بهتر رشد زایشی) گیاه بابونه است، زیرا این گیاه عادت رشد نامحدود داشته و از مرحله شروع گلدهی، رشد رویشی و زایشی به موازات یکدیگر صورت می‌گیرد. در این بین تعداد ساقه و تعداد گل در بوته به عنوان مهم‌ترین اجزای عملکرد گل محسوب می‌شوند (۲۹). بیش‌ترین تعداد

گل در بوته و تعداد ساقه اصلی در سال‌های اول و دوم برداشت مشاهده شد که روی عملکرد گل تأثیر مثبتی گذاشته است. با توجه به این‌که شاخه و اندام‌های هوایی در گیاه تحت‌تأثیر فعالیت جذب ریشه و میزان انتقال آب و مواد غذایی از ریشه قرار دارد، می‌توان چنین استدلال کرد که بهبود شرایط محیطی سبب افزایش رشد و عملکرد گیاه شده است. در سال دوم برداشت، در تمامی متغیرهای بررسی شده به جز عملکرد گل تازه، کشت تلفیقی نسبت به کشت خالص برتری دارد (جدول ۲) در شرایط بهره‌مندی کافی از منابع، توازن مناسبی در انتقال مواد فتوسنتزی بین اندام‌های هوایی و زیرزمینی بوته بابونه به وجود می‌آید که موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می‌شود. شرایط مناسب درختان صنوبر در طرفین بوته‌های بابونه با تعدیل درجه حرارت و جلوگیری از تبخیر و افزایش محتوی رطوبتی خاک موجب بهبود رشد بوته‌ها و افزایش عملکرد گل و بذر می‌شوند. از طرفی در سال سوم برداشت، افزایش تاج پوشش سبب کاهش نور و کاهش فتوسنتز شده که عواملی مانند اختلال در عمل روزنه‌ها و تخریب غشاهای سلولی را منجر می‌شود و در نهایت بر عملکرد خشک گل و تعداد گل تأثیر منفی می‌گذارد که بدین‌ترتیب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد در سال سوم برداشت در کشت تلفیقی را می‌توان توجیه کرد. سیستم ریشه عمیق و گسترده درختان آن‌ها را قادر می‌سازد تا مقادیر قابل‌توجهی از مواد مغذی را در زیر ناحیه ریشه محصولات زیرکشت جذب کرده و آن‌ها را به خاک سطحی انتقال دهند (۳۰) و از شستشوی مواد غذایی جلوگیری کنند (۳۱). هم‌چنین کاشت صنوبر می‌تواند با افزودن لاشبرگ، سلامت خاک را بهبود بخشد که با افزایش عناصر تغذیه‌ای خاک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و رطوبتی خاک بر مشخصه‌های گیاه تأثیر مثبت می‌گذارد.

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد بابونه در کشت تلفیقی و خالص در طی سه سال برداشت تجزیه و تحلیل برای هر سال جداگانه انجام گرفته است).

Table 2. Comparison of average yield and yield components of chamomile plant in intercropped and sole cultivation during three years of harvest (The analysis was conducted for each year separately).

تعداد ساقه اصلی در متر مربع Number of main stems per square meter	عملکرد بذر (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد گل خشک (کیلوگرم در هکتار) Dried flower yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد گل تازه (کیلوگرم در هکتار) Fresh flower yield (kg ha ⁻¹)	قطر گل (میلی متر) Flower diameter (mm)	تعداد گل در بوته Number of flowers per plant	ارتفاع (سانتی متر) Height (cm)	منابع تغییرات Sources of variation	زمان Time
14.5(0.76)a	487.4(41.05)a	578.23(37.82)	2942.68(154.31)a	16.1(0.2)a	120.24(8.52)a	58.03(3.19)a	کشت تلفیقی Intercrop	سال اول First year
9.83(0.7)b	374.51(18.33)b	464.77(21.43)	2026.35(32.8)b	15.14(0.37)b	85.67(7.05)b	35.91(1.58)b	کشت خالص Sole	
18.55(0.87)a	469.64(56.87)a	561.33(38.76)a	2436.83(308.69)	15.65(0.33)a	261.33(8.31)a	83.17(3.39)a	کشت تلفیقی Intercrop	سال دوم Second year
8.32(0.68)b	302.41(29.53)b	410(19.03)b	1797(157.8)	14.58(0.29)b	155.83(12.83)b	45.5(3.06)b	کشت خالص Sole	
4.15(0.64)b	253(17.22)b	283(13.81)b	1326.17(106.01)b	10.98(0.43)b	81.17(2.94)b	74.61(5.91)a	کشت تلفیقی Intercrop	سال سوم Third year
13.38(1.93)a	419(43.15)a	497(90.22)a	2044.67(161.53)a	14.63(0.37)a	128.17(8.24)a	51.17(3.12)b	کشت خالص Sole	

حروف مختلف در ستون مربوط به هر مشخصه در هر سال، تفاوت معنی داری بین میانگین‌ها را نشان می‌دهد، (): خطای استاندارد

Different letters in the column for each characteristic in each year indicate significant differences among the means, (): Standard Error

برداشت اختلاف معنی‌دار آماری را در نوع کشت نشان دادند. (جدول ۳). بازده اسانس و عملکرد اسانس در سال اول و سوم برداشت اختلاف معنی‌دار آماری را بین کشت‌های تلفیقی و خالص نشان دادند.

آزمون ویژگی‌های کیفی: تجزیه واریانس نوع کشت با آزمون تی‌جفتی بر ویژگی‌های کیفی گیاه بابونه در جدول ۳ آورده شده است. متغیرهای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در سال‌های دوم و سوم برداشت و متغیر کاروتنوئید فقط در سال سوم

جدول ۳- نتایج آزمون تی بین محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و اسانس گیاه بابونه در کشت تلفیقی و خالص در طی سه سال برداشت.

Table 3. Results of T-test among the content of photosynthetic pigments and essential oil of chamomile plant in intercropped and sole cultivation during three years of harvest.

زمان Time	منابع تغییرات Sources of variation	کلروفیل آ Chlorophyll a	کلروفیل ب Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	اسانس Essential oil	بازده Essential oil yield	عملکرد
سال اول First year	معنی‌داری Sig.	0.219 ^{ns}	0.051 ^{ns}	0.019*	0.12 ^{ns}	0.002**	0.000**	
	آماره t	1.769	4.251	7.067	2.625	20.785	300.162	
سال دوم Second year	معنی‌داری Sig.	0.02*	0.002**	0.000**	0.172 ^{ns}	0.122 ^{ns}	0.052 ^{ns}	
	آماره t	-7.007	-23.281	-109.985	-2.085	-2.598	4.197	
سال سوم Third year	معنی‌داری Sig.	0.001**	0.003**	0.000**	0.007**	0.001**	0.002**	
	آماره t	-35.672	-19.856	-106.232	-12.209	-34.641	-25.01	

* تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ^{ns} عدم وجود تفاوت معنی‌دار

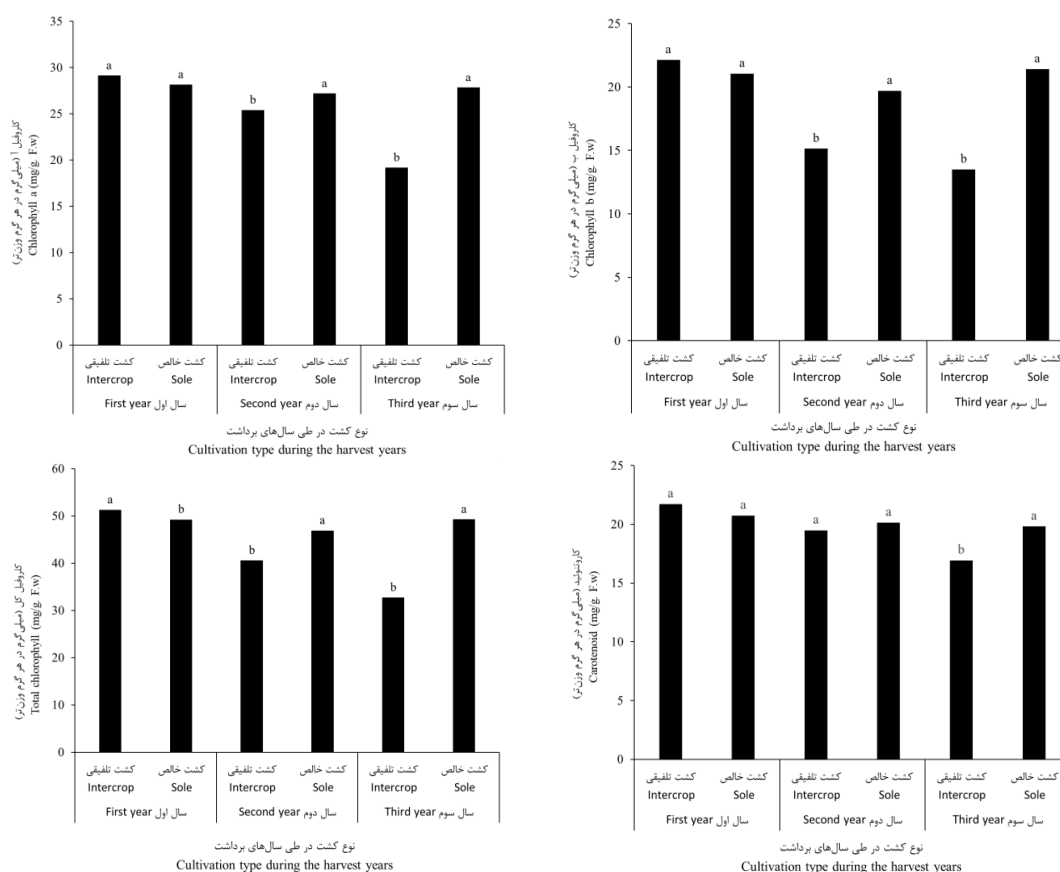
^{ns} is not significant and * and ** are significant at 5 and 1 percent probability levels, respectively

محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی: کلروفیل کل تحت تأثیر معنی‌دار نوع کشت در طی سه سال برداشت قرار گرفته است. میزان کلروفیل در گیاهان یکی از عوامل مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است. کشت تلفیقی سبب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل کل نسبت به کشت خالص در سال اول برداشت شد (شکل ۱). با توجه به این که در ساختار رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل و کاروتنوئید) برخی از عناصر غذایی مشارکت دارند بنابراین کشت تلفیقی از طریق فراهم نمودن شرایط رشد بهتر برای گیاه سبب افزایش محتوای کلروفیل کل شده است. مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در سال‌های دوم و سوم برداشت در کشت خالص بیش‌تر از کشت تلفیقی است (شکل ۱). دیپاک و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که محتوای کلروفیل محصول زیرکشت ذرت تحت نظام جنگل زراعی با گواوا (*Psidium guajava*) به‌طور قابل‌توجهی بیش‌تر از کشت خالص بود (۳۲).

گیاهان رشدیافته در سایه، نور کم‌تری برای فتوسنتز دریافت می‌کنند که سبب کاهش عملکرد و تولید گل می‌شود. مقدار و ترکیب رنگیزه‌های فتوسنتزی تا حد زیادی متأثر از شدت نور دریافتی است و در بافت‌های فتوسنتزی، کاروتنوئید عامل حفاظتی محسوب می‌شود و از اکسید شدن مولکول‌های کلروفیل در حضور نور و اکسیژن جلوگیری می‌کند. سنتز کاروتنوئیدها، اگرچه ارتباط مستقیمی با تابش نور خورشید ندارد اما برای تأمین انرژی لازم برای سنتز آن‌ها به‌طور غیرمستقیم، به نور نیاز می‌باشد. کاروتنوئیدها وظیفه حفظ کلروفیل از اکسیداسیون نوری، جذب نور و انتقال انرژی به کلروفیل a را بر عهده دارند (۳۳). کاروتنوئیدها به‌عنوان گیرنده نور عمل کرده و موجب استفاده سلول از طول موج‌های مختلف آن می‌شوند. بنابراین با کاهش میزان نور، میزان این رنگیزه‌ها نیز همانند کلروفیل کاهش می‌یابد. بسته به نوع گیاه، کاهش شدت نور سبب کاهش تجمع رنگیزه‌ها به‌دلیل

پوشش درختان نشان دادند و با افزایش سن و گسترش تاج صنوبر، عملکرد و صفات فیزیولوژیکی آن‌ها کاهش یافت که همسو با نتایج تحقیق حاضر است (۳۴). نتایج مشابهی نیز برای کشت تلفیقی درخت صنوبر (*Populus gansuensis*) با زیرکشت ذرت در شمال غربی چین توسط دینگ و سو (۲۰۱۰)، کشت تلفیقی درخت عناب با زیرکشت گندم در منطقه سین‌کیانگ چین توسط یانگ و همکاران (۲۰۱۹) و کشت تلفیقی درخت کادامبا (*Neolamarckia cadamba*) با محصولات زیرکشت سورگوم و جو در منطقه هیسار واقع در هاریانای چین توسط احلوات و همکاران (۲۰۲۴) گزارش شده است (۳۵، ۳۶ و ۳۷).

تخریب و یا کاهش ساخت آن‌ها می‌شود. در تحقیق حاضر، در سال سوم برداشت در کشت تلفیقی صفات فیزیولوژیک مختلف همانند میزان کلروفیل کل، کلروفیل a و کلروفیل b و کاروتنوئید کاهش داشتند و اثرهای منفی ناشی از این تغییرات در عملکرد گیاه بابونه مشاهده شد. محتوای کلروفیل به‌طور مستقیم بر میزان فتوسنتز و تولید محصول تأثیر می‌گذارد بنابراین کاهش کلروفیل میزان تولید محصول زیرکشت را کاهش می‌دهد. در تحقیق چاوهان و همکاران (۲۰۱۳) میزان کلروفیل و کاروتنوئید و تعرق در هر دو محصول زردچوبه و ماش در کشت خالص بیش‌تر از کشت تلفیقی با درختان صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) بود به طوری که محصولات زراعی در ابتدا عملکرد بهتری در زیر سایه جزئی تاج



شکل ۱- مقایسه میانگین محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در کشت‌های تلفیقی و خالص در طی سه سال برداشت با آزمون تی.

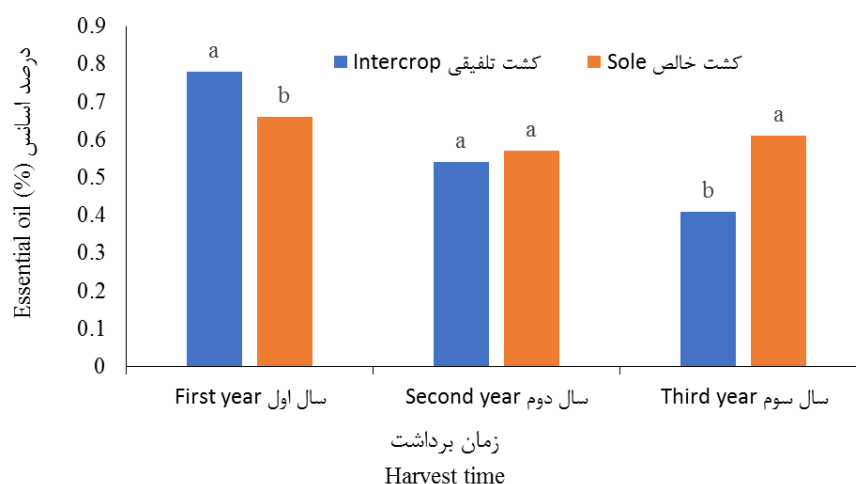
Fig. 1. Comparison of the average content of photosynthetic pigments in two intercrop and sole cropping over three years of harvest with the T-test.

درصد و عملکرد اسانس: نتایج این تحقیق نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین کشت‌های تلفیقی و خالص در بازده اسانس در سال‌های اول و سوم برداشت وجود دارد. در تحقیق کاتسولیس و همکاران (۲۰۲۲) تراکم سایه درختان زیتون بر عملکرد خشک و همچنین عملکرد اسانس بابونه در کشت تلفیقی معنی‌دار نبود (۳۸). مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که کشت تلفیقی در سال اول با ۰/۷۸ درصد بالاترین مقدار اسانس و در سال سوم با ۰/۴۱ درصد کم‌ترین میزان تولید اسانس را داشته است (شکل ۲). با توجه به این‌که کشت تلفیقی بابونه در سال اول دارای بالاترین بازده اسانس می‌باشد می‌توان دلیل آن را به فتوسنتز بهتر و در نتیجه تنفس مناسب‌تر نسبت داد، چون متابولیت‌های ثانویه از فتوسنتز گیاه به وجود می‌آیند به‌طوری‌که فتوسنتز و سبزی‌نگی بهتر منجر به تولید بیش‌تر متابولیت‌های ثانویه و در نتیجه تولید اسانس بالاتر می‌شود (۳۹). کمیت و کیفیت اسانس بابونه آلمانی به‌طور ژنتیکی کنترل می‌شود ولی عوامل اقلیمی و عکس‌العمل متقابل بین گیاه و شرایط محیطی نیز بر این صفت مؤثر است (۴۰). این یافته را احتمالاً می‌توان به توسعه بهتر سیستم ریشه گیاهان و فعالیت بالای آن‌ها در کشت تلفیقی به‌دلیل افزایش رطوبت خاک نسبت داد و بنابراین ظرفیت بیش‌تر برای اتصال عناصر غذایی از خاک به گل‌ها، که در نهایت سبب بهبود عملکرد اسانس می‌شود. در حالی که در کشت خالص، تابش نور مستقیم خورشید سبب تبخیر بالا و کاهش رطوبت خاک می‌شود که همین عامل روی عملکرد گل و اسانس گیاه تأثیر می‌گذارد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین کشت‌های تلفیقی و خالص در عملکرد اسانس در سال‌های اول و سوم برداشت وجود دارد. مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که کشت تلفیقی در سال اول با ۴۵۱/۰۲ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد اسانس و در سال سوم با ۱۱۶/۰۳ کیلوگرم در

هکتار کم‌ترین میزان عملکرد اسانس را داشته است (شکل ۳). رطوبت نسبی به وجود آمده در خرد اقلیم تحت کشت تلفیقی با درختان صنوبر در طول فصل رشد گیاه بر عملکرد بیولوژیکی و کمیت و کیفیت مواد مؤثره تأثیر می‌گذارد که این عامل سبب افزایش بازده و عملکرد اسانس محصول زیرکشت بابونه در شرایط مطلوب نوری می‌شود. با بهبود شرایط فیزیکی و خاک تحت برهمکنش رطوبت دریافتی از ریشه‌های درختان و محیط خرد اقلیم، ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه، سبب افزایش تولید ماده خشک، عملکرد گل و درصد و عملکرد اسانس در گیاه بابونه شده است که با نتایج تحقیق گرگینی شبانکاره و همکاران (۲۰۲۵) مطابقت دارد (۴۱). در تحقیق سینگ و همکاران (۲۰۲۲) بیش‌ترین بازده اسانس ۱/۲۱ و ۱/۲۷ درصد در رقم CIM Kranti در برداشت اول و دوم در کشت خالص وجود داشت و عملکرد اسانس ۱۸۶ لیتر در هکتار در کشت خالص و ۷۳ لیتر در هکتار در کشت تلفیقی ارقام مختلف نعنای با صنوبر بود (۱۵). سولانکی و همکاران (۲۰۱۴) نتیجه گرفتند که عملکرد اسانس نعنای (*Mentha arvensis*) (۶۵/۲۳ درصد)، ریحان (*Ocimum sanctum*) (۶۵/۴۲ درصد) و نائین هاوندی (*Andrographis paniculata*) (۷۱/۷۱ درصد) در زیر کشت درختان هفت ساله مانیکارا (*Manilkara achras*) و جاتروفا کارکس (*Jatropha curcus*) کاهش پیدا کرد (۴۲). جوشی و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که نعنای (*Mentha arvensis*) رقم CIM Kranti بیش‌ترین اسانس (۱۰۰/۲۹ لیتر در هکتار) را نسبت به گونه *M. piperita* (۵۱/۱۲ لیتر در هکتار)، *M. citrata* (۴۶/۹۴ لیتر در هکتار) و *M. spicata* (۴۰/۲۶ لیتر در هکتار) در زیرکشت درختان چهارساله صنوبر داشت (۱۷). راثنی و همکاران (۲۰۰۸) کاهش قابل‌توجهی در ارتفاع بوته، بیوماس و عملکرد اسانس

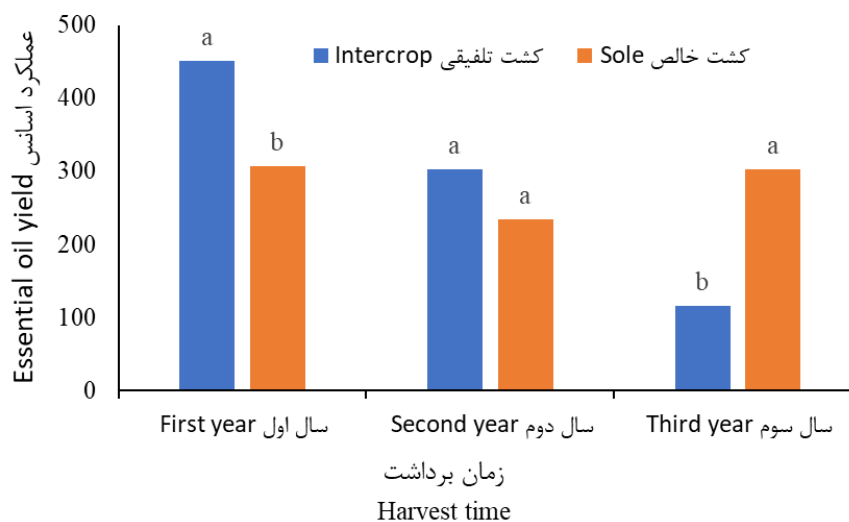
احتمالاً به این دلیل که مواد جذب شده ممکن است در مکانیسم‌های لازم برای رشد گیاه در شرایط نور مستقیم به کار رفته باشد (۴۴).

نوع ژاپنی و علف لیمو در زیر کشت صنوبر دریافتند (۴۳). بررسی اولیویرا و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که عملکرد اسانس در گیاهان بادرنجبویه در سایه جزئی بیش‌تر از عملکرد در زیر نور کامل خورشید است،



شکل ۲- مقدار بازده اسانس بابونه در کشت‌های تلفیقی و خالص در طی سه سال برداشت با آزمون تی در سطح احتمال ۵ درصد.

Fig. 2. Essential oil (%) of chamomile in two intercrop and sole cropping over three years of harvest with T-test at 5 percent probability levels.



شکل ۳- مقدار عملکرد اسانس بابونه (کیلوگرم در هکتار) در کشت‌های تلفیقی و خالص در طی سه سال برداشت براساس اندازه‌گیری بوته‌ها در سطح هر قطعه آزمایشی.

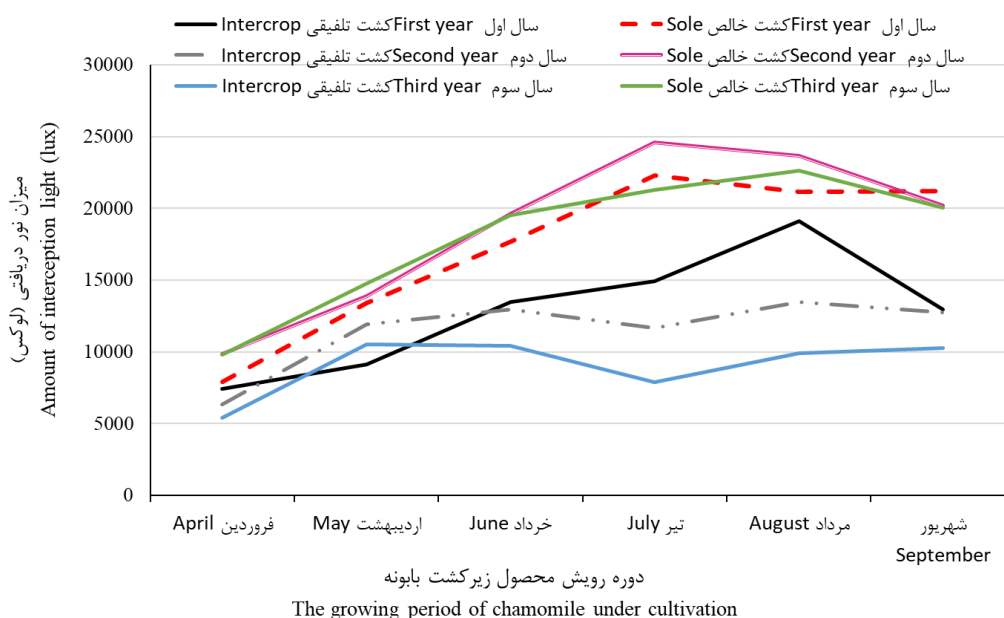
Fig. 3. Essential oil yield of chamomile in two intercrop and sole cropping over three years of harvest based on measurements of plants on the surface of each experimental plot.

روند کاهشی نشان داد در حالی که در سال سوم در کشت تلفیقی و خالص این میزان نور دریافتی در تیر ماه به کم‌ترین میزان خود رسید. در سال سوم

میزان نور دریافتی: روند تغییرات میزان نور دریافتی در سال اول برداشت در کشت تلفیقی و در سال سوم در کشت خالص از فروردین تا مرداد افزایش و سپس

به دلیل کاهش ۳۰ تا ۳۵ درصدی شدت نور در نظام جنگل زراعی نسبت به کشت خالص نتیجه گرفتند (۴۸). نور دریافتی توسط محصول زیر کشت درخت تابعی از شاخص سطح برگ و تاج درخت است. اگر میزان تاج پوشش درخت به طور یکنواخت توزیع شود، نور دریافتی توسط محصول زیرکشت نیز یکسان خواهد بود و با افزایش سن درخت، میزان تراکم تاج پوشش نیز بیش‌تر و گسترده‌تر خواهد شد که سبب می‌شود روی محصول زیرکشت سایه ایجاد شود که بالطبع عملکرد محصول نیز کاهش می‌یابد. اگر نسبت ارتفاع درخت به عرض دالان راهرویی (فاصله ردیف‌های بین درختان) بیش از ۱:۱ باشد، تابش آفتاب در هر دالان راهرویی یکنواخت و زیاد است (۴۹)، در تحقیق حاضر ارتفاع درخت در سال سوم بیش‌تر از ۶ متر رسید که این نسبت ارتفاع درخت به عرض دالان در سال سوم به ۱/۵ رسید که افزایش ارتفاع درخت و گسترش تاج پوشش، میزان نور رسیده به محصولات زیرکشت را کاهش داد.

برداشت، میزان نور دریافتی در ماه‌های رویش در کشت تلفیقی بسیار کاهش یافت (شکل ۴). با توجه به اهمیت شدت نور بر بهره‌وری نظام‌های جنگل زراعی، نیاز به بررسی اثر شدت نور بر عملکرد بابونه در کشت تلفیقی و جود دارد. کشاورزان تا زمانی اقدام به کشت محصول در زیر درختان می‌کنند که سایه درختان بر کمیت و کیفیت محصول آن‌ها تأثیر منفی نگذارد بنابراین در تحقیق حاضر تا دو سال امکان کشت بابونه در زیر تاج درختان صنوبر اورامریکن وجود دارد و در سال سوم به شدت کاهش نور روی عملکرد محصول تأثیر منفی می‌گذارد. شدت نور در کشت خالص از شدت نور در کشت تلفیقی بیش‌تر بود. مطابق با نتایج تحقیق حاضر، پژوهش‌گران دیگری نیز گزارش دادند که منطقه باز در مقایسه با کشت‌های تلفیقی شدت نور بیش‌تری دریافت می‌کند زیرا سایه تاج پوشش درختان وجود ندارد (۴۵، ۴۶ و ۴۷). لات و همکاران (۲۰۰۹) کاهش ۲۵ درصدی در عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در نظام جنگل زراعی نسبت به کشت خالص

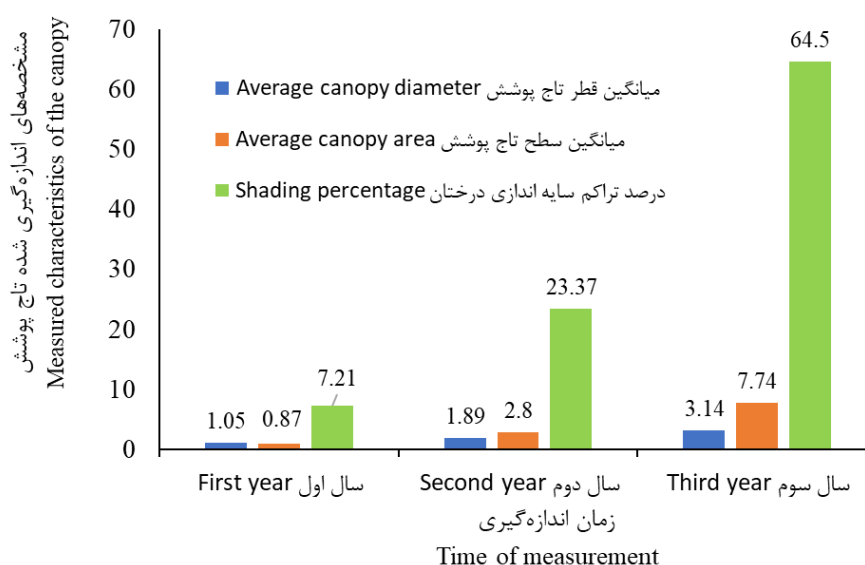


شکل ۴- روند تغییرات میزان نور دریافتی محصول زیرکشت بابونه در دوره رویش در دو کشت تلفیقی و خالص در طی سه سال برداشت.

Fig. 4. The trend of changes of amount light interception by chamomile crops during the growing period in two intercrop and sole cropping over three years of harvest.

در کشت تلفیقی عملکرد کمتری نسبت به سال‌های قبل و هم‌چنین نسبت به کشت خالص داشته است. سینگ و همکاران (۲۰۲۲) میزان درصد تراکم سایه‌اندازی درختان صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides* Bartr.) را در سال دوم با محصول زیرکشت نعنای در دامنه‌های هیمالیا به میزان ۴۰/۸۹ درصد گزارش کردند که سبب کاهش عملکرد محصول در برداشت سال دوم شده است (۱۵). از سوی دیگر، اثر منفی سایه بر عملکرد محصول زیرکشت به احتمال زیاد به کاهش نرخ فتوسنتز گیاهان مربوط می‌شود (۳۸). در نتیجه، کاهش شدت تشعشع خورشیدی از طریق تأثیرگذاری بر تولید و انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها در مرحله گلدهی و بذری اثر منفی می‌گذارند.

درصد تراکم سایه‌اندازی درختان: مشخصه‌های اندازه‌گیری شده تاج پوشش شامل میانگین قطر تاج پوشش، میانگین سطح تاج پوشش و درصد تراکم سایه‌اندازی درختان در طی سال‌های مورد مطالعه در شکل ۵ ارائه شده است. میانگین قطر تاج پوشش ۴۲ درخت در سه بلوک تحقیق حاضر در سال سوم به میزان ۳/۱۴ متر به‌دست آمد و با توجه به میانگین سطح تاج پوشش ۷/۷۴ مترمربع و سطح کل ۵۰۴ مترمربع، درصد تراکم سایه‌اندازی درختان صنوبر با ۶۴/۵ درصد محاسبه شد که افزایش تدریجی سایه‌اندازی درختان از سال اول تا سال سوم را نشان می‌دهد. این افزایش سایه‌اندازی درختان بالطبع روی عملکرد محصول زیرکشت بابونه تأثیر منفی گذاشته است به‌طوری‌که در برداشت سال سوم محصول بابونه



شکل ۵- مشخصه‌های اندازه‌گیری شده تاج پوشش در طی سال‌های مورد مطالعه.

Fig. 5. The measured characteristics of the canopy during the studied years.

اصلی نوع کشت و عمق خاک و اثر متقابل این دو عامل بر میزان محتوای کربن آلی خاک معنی‌دار است (جدول ۴). بیش‌ترین مقدار آن در کشت تلفیقی در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری است (شکل ۶). میزان

ارزیابی محتوای کربن خاک: پس از اندازه‌گیری مشخصه‌های درصد کربن و وزن مخصوص ظاهری، مقادیر محتوای کربن خاک در عمق‌های موردنظر محاسبه شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر

محتوای کربن خاک در منطقه صنوبرکاری شده در کشت تلفیقی پس از ۵ سال بیش‌تر از عرصه خالص بابونه است. تفاوتی که در میزان محتوای کربن خاک موجود در عمق‌های مختلف هر یک از عرصه‌های کشت شده مشاهده می‌گردد، نشان می‌دهد که در کشت‌های تلفیقی، پوشش‌های درختی و دارویی با یکدیگر توانایی متفاوتی از طریق تأثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در محتوای کربن نسبت به کشت خالص گیاه دارویی دارند که با گزارش‌های گیری و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد (۵۰). از دلایل مهم افزایش عناصر غذایی و کربن آلی خاک، می‌توان به تجزیه لاشبرگ ورودی به کف توده، افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی در افق‌های مختلف خاک، ایجاد خرد اقلیم، افزایش فعالیت‌های ریشه و همچنین تأثیر مثبت تاج پوشش درختان در کاهش آبشویی عناصر تغذیه‌ای اشاره کرد (۵۱). افزایش

لاشبرگ کف عرصه سبب افزایش مواد آلی و قابلیت نگهداری آب و حفظ رطوبت در خاک می‌شود که از این طریق بر محتوای کربن خاک تأثیر می‌گذارد. در پژوهش حاضر با افزایش عمق خاک به مقدار محتوای کربن افزوده شد که دلیل آن کمبود رطوبت در سطح خاک و آبشویی بیش‌تر مواد آلی از لایه‌های بالاتر و افزایش آن در عمق‌های پایین‌تر است. دیناکاران و کریشنایا (۲۰۰۸) معتقدند که نوع پوشش گیاهی تأثیر معنی‌داری بر محتوای کربن خاک می‌گذارد، به‌طوری‌که تغییر در مقدار محتوای کربن خاک، به مقدار ورودی کربن به خاک از طریق تجزیه لاشبرگ بستگی دارد (۵۲). نظام جنگل زراعی یک فعالیت مدیریتی زمین‌های کشاورزی است که سبب افزایش کربن ورودی به خاک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود.

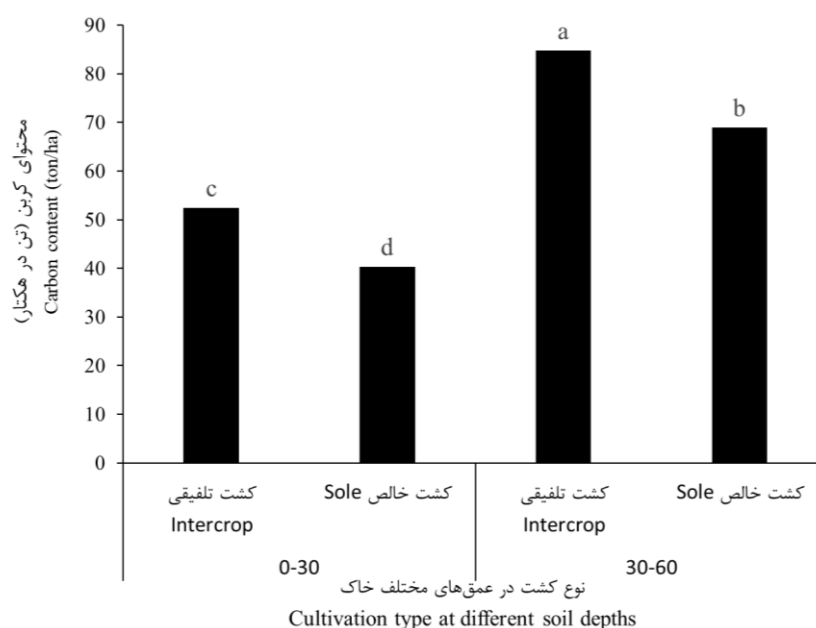
جدول ۴- تجزیه واریانس میزان محتوای کربن آلی خاک تحت تأثیر نوع کشت و عمق‌های مختلف خاک.

Table 4. Analysis of variance of soil organic carbon content rate under the influence of cultivation type and different soil depths.

منابع تغییرات Source of variation	میانگین مربعات Mean Square	آماره F	معنی‌داری Sig.
نوع کشت Cultivation type	1254.081	65.77	0.000**
عمق خاک Soil depth	4676.987	245.282	0.000**
نوع کشت × عمق خاک Cultivation type × Soil depth	125.687	6.592	0.025*

* تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

* and ** are significant at 5 and 1 percent probability levels, respectively



شکل ۶- میزان محتوای کربن آلی خاک تحت تأثیر نوع کشت در عمق‌های مختلف خاک.

Fig. 6. The amount of soil organic carbon (SOC) content influenced by cultivation type at different depths of the soil.

و برنامه‌های هرس مورد نیاز برای کاهش اثر تاج پوشش صنوبر بر عملکرد محصول زیرکشت، به حداقل رساندن رقابت منابع و بهبود فرآیندهای فیزیولوژیکی انجام شود. نظام‌های جنگل زراعی از نظر ساختاری و عملکردی پیچیده‌تر از مزارع تک‌کشتی هستند، بنابراین کشاورزان می‌توانند از فضای بین ردیف‌های درختان با کشت گیاهان دارویی و معطر برای بهبود معیشت استفاده کنند. پارامترهای الگوی کاشت مناسب و مدیریت تولید با توجه به ویژگی‌های اکولوژیکی منطقه کاشت، در افزایش کمی و کیفی محصولات تولیدی نقش به‌سزایی داشته و بدون توجه به آن‌ها امکان دستیابی به حداکثر ماده مؤثره در گیاهان تولیدی وجود نخواهد داشت. انتخاب اجزای کشت تلفیقی باید بر اساس اصل به حداقل رساندن رقابت برای بهره‌وری بالاتر و تأمین امنیت معیشتی برای کشاورزان باشد تا محصولات تولیدی با کیفیت به بازار فروش عرضه شود.

نتیجه‌گیری کلی

روش‌های جنگل زراعی در باغ‌های صنوبر رایج است، اما تحقیقات کمی در مورد بهره‌وری چنین نظام‌هایی، به ویژه با گیاهان دارویی-معطر به عنوان محصولات زیرکشت درختان صنوبر انجام شده است. هر ساله بذره‌های بابونه در ردیف‌های بین درختان صنوبر به مدت سه سال کاشته شده است و در پاییز دوباره زمین شخم‌زده شده است ولی احتمال می‌رود ریزش برگ صنوبر تأثیر آللوپاتیک نیز بر محصول زیرکشت گذاشته باشد بنابراین ضروری است اثرات آللوپاتیک ریشه و برگ صنوبر بر رشد گیاه، عملکرد محصول، رنگدانه‌های فتوسنتزی و خواص فیزیکی و شیمیایی خاک زیر کشت در تحقیقات آینده توسط سایر محققین در روش‌های جنگل زراعی بررسی شود. از تحقیق حاضر نتیجه‌گیری می‌شود که نظام تلفیقی تأثیر قابل توجهی بر پارامترهای کمی و کیفی بابونه آلمانی و محتوای کربن خاک دارد. نتایج نشان می‌دهد باید در آینده تحقیق روی تراکم کاشت بهینه

منابع

1. Thakur, P. S., & Kumar, R. (2006). Growth and production behavior of medicinal and aromatic herbs grown under hedgerows of *Leucaena* and *Morus*. *Indian Journal of Agroforestry*, 8 (1), 12-20.
2. Thakur, P. S., & Dutt, V. (2007). Cultivation of medicinal and aromatic herbs in agroforestry for diversification under submontane conditions of western Himalayas. *Indian Journal of Agroforestry*, 9 (2), 66-76.
3. Dhillon, R. S., Bhardwaj, K. K., Beniwal, R. S., Bangarwa, K. S., Kumari, S., Godara, A. S., & Sheokand, R. N. (2016). Performance of wheat as intercrop under different spacings of poplar plantations in semiarid ecosystem of northern India. *Indian Journal of Ecology*, 43, 323-327.
4. Chauhan, H. S. (2000). Performance of poplar (*Populus deltoides*) based agroforestry system using aromatic crops. *Indian Journal of Agroforestry*, 2 (1&2), 17-21.
5. Salamon, I. (1992). Chamomile a flavored plant in Europe. *The American Herb Association*, 9 (1), 45-50.
6. Mozaffarian, V. (2012). Identification of medicinal and aromatic plants of Iran. Farhang-e-Moaser publication, Tehran, Iran, 1444 p. [In Persian]
7. Zaiter, L., Bouheroum, M., Benayache, S., Benayache, F., Leo'n, F., Brouard, I., Quintana, J., Este'vez, F., & Bermejo, J. (2007). Sesquiterpene lactones and other constituents from *Matricaria chamomilla* L. *Biochemical Systematics and Ecology*, 35 (8), 533-538.
8. Ehlert, D., Adamek, R., Giebel, A., & Horn, H. J. (2011). Influence of comb parameters on picking properties for chamomile flowers (*Matricaria recutita*). *Industrial Crops and Products*, 33 (1), 242-247.
9. Jat, S. R., & Thakur, P. (2010). Intercropping of *Matricaria chamomilla* with poplar based agroforestry systems: Effect of organic manures on yield and root characteristics. *Indian Journal of Agroforestry*, 12 (2), 57-62.
10. Thakur, P., Dutt, V., Thakur, A. S., & Raina, R. (2010). Poplar based agroforestry systems: intercropping of medicinal herbs for better production and diversification. *Indian Journal of Agroforestry*, 12 (1), 77-83.
11. Rathee, P. (2017). Performance of coriander and fenugreek as intercrops under different spacings of poplar plantations in North-Western, India. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 5, 857-863.
12. Gill, B. S., Singh, A., Singh, D., & Gandhi, N. (2008). Studies on intercropping of medicinal, aromatic and spice crops in poplar plantation. *Indian Journal of Agronomy*, 53 (4), 295-298.
13. Raj, A. J., Lal, S. B., Daniel, S., & Gowda, V. (2010). Intercropping of lemon grass with poplar (*Populus deltoides* Bartr. ex Marsh) in Eastern Uttar Pradesh. *Indian Journal of Agroforestry*, 12 (1), 13-17.
14. Bijakal, K. S., Kaur, N., & Gill, R. (2019). Evaluation of turmeric (*Curcuma longa* L.) varieties for yield and quality parameters under poplar-based agroforestry system. *Indian Journal of Agroforestry*, 21 (2), 29-34.
15. Singh, M., Singh, V., Kumar, A., Tewari, S. K., Sah, V. K., Singh, R., Das, S., & Tewari, T. (2022). Growth, yield and economic evaluation of early mint technology under poplar based silvi-medicinal system in the foothills of Himalaya. *Agroforestry Systems*, 96 (1), 205-219.
16. Chauhan, H. S., Singh, K., & Patra, D. D. (1997). Studies on litter production, nutrient recycling and yield potential under (5-6 years old) poplar (*P. deltoides*) and *Eucalyptus* (*E. hybrid*) interplanted with aromatic crops in Tarai region of Uttar Pradesh. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*, 19, 1034-1038.

17. Joshi, K., Singh, V., Kumar, A., & Tiwari, R. (2018). Effect on herbage and oil yield in different *Mentha* species intercropped with poplar. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 1750-1754.
18. Calagari, M., Ghasemi, R., Asadi, F., & Bagheri, R. (2018). Promotion of wood production of some poplar clones using sprouts management in Karaj. *Iranian Journal of Forest*, 10 (1), 79-88. [In Persian]
19. Barnes, J. D., Balaguer, L., Manrique, E., Elvira, S., & Davison, A.W. (1992). A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophyll a and b in lichens and higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 32 (2), 85-90.
20. Giannoulis, K. D., Kamvoukou, C. A., & Eleni Wogiatzi, N. G. (2020). *Matricaria chamomilla* L. (German chamomile) flower yield and essential oil affected by irrigation and nitrogen fertilization. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32 (5), 328-35.
21. Nosetoo, M. D., Jobbagy, E. G., & Paruelo, J. M. (2006). Carbon sequestration in semi-arid rangelands. *Journal of Arid Environments*, 67 (1), 142-156.
22. Lemma, B., Kleja, D. B., Nilsson, I., & Olsson, M. (2006). Soil carbon sequestration under different exotic tree species in the south western highlands of Ethiopia. *Geoderma*, 136 (3-4), 886-898.
23. Ralhan, P. K., Singh, A., & Dhanda, R. S. (1992). Performance of wheat as intercrop under poplar (*Populus deltoides* Bartr.) plantations in Punjab (India). *Agroforestry System*, 19, 217-222.
24. Nagarajaiah, C., Kittur, B. H., Mukthamath, U., & Venkatesh, L. (2012). Evaluation of medicinal and aromatic crops under teak based agroforestry system. *Environment & Ecology*, 30 (1), 221-225.
25. Dahiya, G., Bhardwaj, K. K., Devi, S., Ahlawat, I., Singh, C., & Dhillon, R. S. (2022). Influence of different agroforestry systems on crop yield and nutrient uptake in semi-arid region of Haryana. *Indian Journal of Agroforestry*, 24 (2), 19-23.
26. Burgess, P. J., Incoll, L. D., Corry, D. T., Beaton, A., & Hart, B.J. (2005). Poplar (*Populus* spp) growth and crop yields in a silvoarable experiment at three lowland sites in England. *Agroforestry Systems*, 63 (2), 157-169.
27. Thevathasan, N. V., & Gordon, A. M. (2004). Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems*, 61, 257-268.
28. Prasad, J. V. N. S., Korwar, G. R., Rao, K. V., Mandal, U. K., Rao, C. A. R., Rao, G. R., Ramakrishna, Y. S., Venkateswarlu, B., Rao, S. N., Kulkarni, H. D., & Rao, M. R. (2010). Tree row spacing affected agronomic and economic performance of *Eucalyptus*-based agroforestry in Andhra Pradesh. *Southern India. Agroforestry System*, 78, 253-267.
29. Rahmati, M., Azizi, M., Hasanzadeh Khayyat, M., & Nemati, H. (2009). The effects of different levels of nitrogen and plant density on the agromorphological characters, yield and essential oil content of improved Chamomille (*Matricaria chamomilla*) cultivar "Bodegold". *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 23 (1), 27-35. [In Persian]
30. Allen, S. C., Jose, S., Nair, P. K. R., Brecke, B. J., Nkedi, K. P., & Ramsey, C. L. (2004). Safety net role of tree roots: evidence from a pecan (*Carya illinoensis* K. Koch) cotton (*Gossypium hirsutum* L.) alley cropping system in the Southern United States. *Forest Ecology and Management*, 192, 395-407.
31. Moreno, G., Aviron, S., Berg, S., Crous-Duran, J., Franca, A., de Jalon, S. G., & Paulo, J.A. (2018). Agroforestry systems of high nature and cultural value in Europe: provision of commercial goods and other

- ecosystem services. *Agroforestry Systems*, 92 (4), 877-891.
32. Deepak, R. N., Singh, J. P., Shori, A., & Bhoi, R. M. (2018). Effect of different organic sources on growth, yield and quality of rainfed maize (*Zea mays* L.) + guava (*Psidium guajava* L.) based agri-horti system. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7 (4), 2125-2129.
33. Sangwan, A. K., Dhillon, W. S., Chauhan, S. K., Singh, N. P., & Batth, M. K. (2016). Performance of garlic under Agri-Horti-silvicultural system in relation to physiological behavior and yield. *Indian Journal of Ecology*, 43 (2), 724-729.
34. Chauhan, S. K., Dhillon, W. S., Singh, N., & Sharma, R. (2013). Physiological behavior and yield evaluation of agronomic crops under Agri-Horti-silviculture system. *International Journal of Plant Research*, 3 (1), 1-8.
35. Ding, S., & Su, P. (2010). Effects of tree shading on maize crop within a Poplar-maize compound system in Hexi Corridor oasis, northwestern China. *Agroforestry Systems*, 80 (1), 117-129.
36. Yang, T. Z., Duan, Z., Zhu, Y., Gan, Y., Wang, B. J., Hao, X. D., Xu, W. L., Zhang, W., & Li, L. H. (2019). Effects of distance from a tree line on photosynthetic characteristics and yield of wheat in a jujube tree/wheat agroforestry system. *Agroforestry Systems*, 93, 1545-1555.
37. Ahlawat, K. S., Kumari, A., Bishnoi, D. K., Chaudhary, K., Sirohi, C., Atpal, S., Dalal, V., & Poonia, P. K. (2024). Performance of sorghum and barley intercropped with kadam based agroforestry system in semi-arid ecosystem of Haryana. *Forage Research*, 49(4), 461-466.
38. Katsoulis, G. I., Kimbaris, A. C., Anastasaki, E., Damalas, C. A., & Kyriazopoulos, A. P. (2022). Chamomile and anise cultivation in olive agroforestry systems. *Forests*, 13(1), 128.
39. Wu, H., Yang, K., Dong, L., Ye, J., & Xu, F. (2022). Classification, distribution, biosynthesis, and regulation of secondary metabolites in *Matricaria chamomilla*. *Horticulturae*, 8(12), 1135.
40. Salamon, I. (1994). Growing condition and essential oil of chamomile, *Chamomilla recutita* (L.) Rauschert. *Journal of Herbs Spices & Medicinal Plants*, 2(2), 31-43.
41. Gorgini Shabankareh, H., Asgharipour, M. R., Salehi Sardoei, A., Kamaliun, A. R., Mohammadi, H., & Ghorbanpour, M. (2025). Evaluation of the rainfed and irrigated conditions on biomass and essential oil yield of German chamomile (*Matricaria chamomilla*) in response to melatonin foliar application. *BMC Plant Biology*, 25, 131.
42. Solanki, V. K., Jadeja, D. B., & Tandel, M. B. (2014). Performance of herbal medicinal crops under sapota-jatropha based three-tier agroforestry system. *International Journal of Agricultural Sciences*, 10(1), 267-271.
43. Rathi, A. S., Singh, V. P., & Kumar, V. (2008). Study on performance of *Mentha* and lemongrass intercropped with poplar. *Progressive Agriculture*, 8(2), 256-257.
44. Oliveira, G. C., Vieira, W. L., Bertolli, S. C., & Pacheco, A. C. (2016). Photosynthetic behavior, growth and essential oil production of *Melissa officinalis* L. cultivated under colored shade nets. *Chilean journal of agricultural research*, 76(1), 123-128.
45. Jha, M. N., & Gupta, M. K. (2003). Light intensity pattern under agroforestry system. *Indian Forester*, 129, 564-570.
46. Verma, S. K., & Rana, B. S. (2014). Effect of light intensity on paddy and wheat grain yield under *Eucalyptus tereticornis* Sm. based agri-silvicultural system. *The Indian Forester*, 140 (1), 23-28.
47. Johar, V., Dhillon, R. S., Bhardwaj, K. K., Bisht, V., & Kumar, T. (2017). Effect of light intensity on yield of wheat under *Eucalyptus tereticornis* based agri-silvi-horticultural system. *Indian Journal of Ecology*, 44, 95-99.

48. Lott, J. E., Ong, C. K., Black, C. R. (2009). Understory microclimate and crop performance in a *Grevillea robusta*-based agroforestry system in semi-arid Kenya. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 1140-1151.
49. Pham, H. T., La, N., Öborn, I., Bergkvist, G., Mulia, R., & Dahlin, S. (2024). Light distribution at the fruit tree-crop interface and consequences for yield in sloping upland agroforestry. *Heliyon*, 10(19), e38655.
50. Giri, A., Kumar, G., Arya, R., Mishra, S., & Kumar Mishra, K. (2019). Carbon sequestration in *Populus deltoides* based agroforestry system in Northern India. *International Journal of Chemical Studies*, 7(1), 2184-2188.
51. HagenThorn, A., Callesn, L., Armolaitis, K., & Nihlgard, B. (2004). The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, 195(3), 373-384.
52. Dinakaran, J., & Krishnayya, N. S. R. (2008). Variations in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic carbon in affecting sink capacity of tropical soils. *Current Science*, 94(9), 1144-1150.