University of Tehran

Journal of Forest and Wood Products

Home Page: https://jfwp.ut.ac.ir

Online ISSN: 2383-0530

Evaluation of performance and economic viability of the intercropping of garden *Thymus vulgaris* with *Populus nigra* in Markazi Province

Zahra Ahmadloo[1] | Bita Rahimi Badr[2] | Roya Eshraghi Samani[3] | Vilma Bayram Zadeh[4*] | Fatemeh Ahmadloo[5]

1. Department of Agricultural Economics, Ka.C., Islamic Azad University, Karaj, Iran. Email: zahra.ahmadloo5017@iau.ac.ir
2. Department of Agricultural Economics Ka.C., Islamic Azad University, Karaj, Iran. Email: bita.rahimibadr@iau.ac.ir
3. Department of Agricultural Economics Ka.C., Islamic Azad University, Karaj, Iran. Email: roya.eshraghi@iau.ac.ir
4. Corresponding Author, Department of Wood and Paper Sciences, Ka.C., Islamic Azad University,Karaj, Iran. Email: vilma.bayramzadeh@iau.ac.ir
5. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: ahmadloo@rifr-ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 26 May 2026
Revised: 29 August 2026
Accepted: 6 October 2026
Published online: 20 November 2026

Keywords:
Agroforestry,
Economic evaluation,
Tabrizi poplar trees,
Production performance,
Pure and mixed cultivation.

ABSTRACT

Introduction: Intercropping trees with agricultural crops is considered a modern approach to enhance sustainable land and water productivity while reducing investment risks in wood farming. This applied field study was conducted to evaluate the performance and economic viability of intercropping garden thyme (*Thymus vulgaris*) with black poplar (*Populus nigra '62/154'*) in Markazi Province, Iran. The primary aim was to improve land and water productivity and to propose a suitable model for sustainable wood farming development in semi-arid regions.

Method: The experiment was carried out on a 1500 m² field in the Abbasabad region of Shazand County, Markazi Province, over a five-year period from 2020 to 2024. The study area has a semi-arid climate with an average annual rainfall of 570 mm and a mean annual temperature of 12°C, providing suitable conditions for agroforestry systems. The statistical design was a randomized complete block design (RCBD) with three treatments (pure poplar, pure thyme, and poplar-thyme intercropping) and three replications. In March 2020, 120 one-year-old poplar saplings were planted at a density of 1250 trees ha^{-1} (4 × 2 m spacing). In autumn 2021, thyme seedlings were transplanted between poplar rows at densities of 20 plants m^{-2} (pure cultivation, 25×20 cm spacing) and 10 plants m^{-2} (intercropping, 50×20 cm spacing). Irrigation was applied weekly using a drip irrigation system. Poplar growth traits (diameter at breast height, height, and volume) were recorded over five years, while thyme traits (plant height, branch number, canopy diameter, fresh and dry weight, fresh and dry yield) were measured over three harvest years (2022–2024). Thymus vulgaris Dry weight was determined using an oven at 75°C for 48 hours. Data were analyzed using an independent T-test, two-way ANOVA, and Duncan's multiple range test at the 5% significance level. System efficiency was evaluated using Land Equivalent Ratio (LER), Relative Value Total (RVT), Actual Yield Loss/Gain (AYL), and Intercropping Advantage (IA) indices. Additionally, a linear programming model was designed and solved to optimize net profit under constraints of water, land, and labor resources.

Results: After five years, mean DBH (12.07 cm), height (8.78 m), and total volume (63.46 m^3 ha^{-1}) of poplar trees in the intercropping system were significantly higher (P<0.05) than those in pure poplar cultivation (10.33 cm, 7.81 m, and 42.89 m^3 ha^{-1}). The current annual volume increment in intercropping (29.90 m^3 ha^{-1}) was 39% higher than in pure cultivation. Annual dry thyme yield was significantly higher in pure cultivation (3765 kg ha^{-1}) than in intercropping (3027 kg ha^{-1}). However, the LER and RVT indices (both >1) and the positive IA values confirmed the economic superiority of the intercropping system. The five-year net profit from intercropping was estimated at 65,120 million IRR ha^{-1}. Moreover, the intercropping system reduced water consumption by 26% compared to pure thyme cultivation and increased economic water productivity (based on gross income per cubic meter of water) by more than 2.6 times compared to pure poplar cultivation. Survival rates for both poplar trees and thyme plants were 100% across all treatments.

Conclusion: The poplar-thyme intercropping system is recommended as a superior model for semi-arid regions. This system not only reduces pressure on natural forests and improves water and land productivity, but also generates positive cash flow from the second year (through thyme harvesting), thereby significantly lowering the long-term investment risks associated with wood farming. The results of this study provide a scientific basis for policy-making to promote intercropping systems in similar climatic zones.

Cite this article: Ahmadloo, Z., Rahimi Badr, B., Eshraghi Samani, R., Bayram Zadeh, V., Ahmadloo, F. (2026). Evaluation of performance and economic viability of the intercropping of garden *Thymus vulgaris* with *Populus nigra* in Markazi Province. *Journal of Forest and Wood Products*, 79 (3), 269-289. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2026.415236.1394

© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2026.415236.1394

دانشگاه تهران

نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب

سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۰۵۳۰

ارزیابی عملکرد و سودمندی اقتصادی کشت تلفیقی آویشن باغی با صنوبر تبریزی در استان مرکزی

زهرا احمدلو[۱] | بیتا رحیمی بدر[۲] | رویا اشراقی سامانی[۳] | ویلما بایرام‌زاده[۴*] | فاطمه احمدلو[۵]

۱. گروه اقتصاد کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. رایانامه: zahra.ahmadloo5017@iau.ac.ir

۲. گروه اقتصاد کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. رایانامه: bita.rahimibadr@iau.ac.ir

۳. گروه اقتصاد کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. رایانامه: roya.eshraghi@iau.ac.ir

۴. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی چوب و کاغذ، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. رایانامه: vilma.bayramzadeh@iau.ac.ir

۵. مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: ahmadloo@rifr-ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۰۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۱۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۲۹

کلیدواژه:
جنگل زراعی،
ارزیابی اقتصادی،
درختان صنوبر تبریزی،
عملکرد تولید،
کشت خالص و تلفیقی.

چکیده

مقدمه: کشت تلفیقی درختان با گیاهان زراعی راهکاری نوین برای افزایش بهره‌وری پایدار منابع آب و خاک و کاهش ریسک سرمایه‌گذاری در زراعت چوب است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی عملکرد و سودمندی اقتصادی کشت تلفیقی آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) با صنوبر تبریزی (*Populus nigra* '62/154') در استان مرکزی انجام شد تا ضمن افزایش بهره‌وری زمین و آب، الگوی مناسبی برای توسعه‌ی پایدار زراعت چوب در مناطق نیمه‌خشک ارائه نماید.

روش پژوهش: این پژوهش کاربردی در مزرعه‌ای به مساحت ۱۵۰۰ مترمربع در منطقه‌ی عباس‌آباد شازند، استان مرکزی، طی دورهٔ پنج‌ساله (۱۳۹۹–۱۴۰۳) اجرا شد. منطقه با اقلیم نیمه‌خشک (میانگین بارش ۵۷۰ میلی‌متر و دمای ۱۲ درجهٔ سانتی‌گراد) شرایط مناسبی برای جنگل زراعی دارد. طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با سه تیمار (کشت خالص صنوبر، کشت خالص آویشن و کشت تلفیقی) و سه تکرار بود. در اسفند ۱۳۹۹ تعداد ۱۲۰ اصله نهال یک‌سالهٔ صنوبر با تراکم ۱۲۵۰ اصله در هکتار (فاصلهٔ ۴×۲ متر) کشت شدند. در پاییز ۱۴۰۰، نشاءهای آویشن با تراکم ۲۰ بوته در مترمربع (کشت خالص) و ۱۰ بوته در مترمربع (کشت تلفیقی با فاصلهٔ ۵۰×۲۰ سانتی‌متر) بین ردیف‌های صنوبر کشت شدند. آبیاری با سیستم قطره‌ای و هفته‌ای یکبار انجام شد. صفات رویشی صنوبر (قطر برابر سینه، ارتفاع و حجم) به مدت پنج سال و صفات آویشن (ارتفاع بوته، تعداد شاخه، قطر تاج، وزن تر و خشک، عملکرد تر و خشک) به‌مدت سه سال اندازه‌گیری شدند. وزن خشک آویشن باغی با آون در دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت تعیین شد. تحلیل داده‌ها با آزمون تی‌تست، آنالیز واریانس دوطرفه و آزمون دانکن (سطح ۵ درصد) انجام شد. برای ارزیابی سودمندی، شاخص‌های نسبت برابری زمین(LER)، مجموع ارزش نسبی(RVT)، کاهش یا افزایش عملکرد واقعی(AYL) و سودمندی کشت آگروفارستری(IA) محاسبه شدند. همچنین یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای بهینه‌سازی سود خالص تحت محدودیت‌های منابع آب، زمین و نیروی کار طراحی و حل شد.

یافته‌ها: در پایان دوره، میانگین قطر (۱۲/۰۷سانتی‌متر)، ارتفاع (۸/۷۸ متر) و حجم کل (۶۳/۴۶ مترمکعب در هکتار) صنوبر در تلفیقی نسبت به خالص (۱۰/۳۳ سانتی‌متر، ۷/۸۱ متر و ۴۲/۸۹ مترمکعب در هکتار) افزایش معنی‌داری داشت ($P<0.05$). رویش جاری حجمی در تلفیقی (۲۹/۸۹ مترمکعب در هکتار) ۳۹ درصد بیشتر از خالص بود. عملکرد خشک آویشن در خالص (۳۷۶۵ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از تلفیقی (۳۰۲۷ کیلوگرم) بود، اما شاخص‌های LER و RVT بزرگ‌تر از یک و IA مثبت برتری اقتصادی تلفیقی را تأیید کردند. سود خالص پنج‌ساله در تلفیقی ۶۵/۱۲۰ میلیون ریال در هکتار برآورد شد. کشت تلفیقی مصرف آب را نسبت به خالص آویشن ۲۶ درصد کاهش داد و بهره‌وری اقتصادی آب را نسبت به خالص صنوبر بیش از ۲/۶ برابر افزایش داد. زنده‌مانی درختان و بوته‌های آویشن در همهٔ تیمارها ۱۰۰ درصد بود.

نتیجه‌گیری: سیستم کشت تلفیقی صنوبر–آویشن به‌عنوان الگوی برتر برای مناطق نیمه‌خشک پیشنهاد می‌شود. این سیستم ضمن کاهش فشار بر جنگل‌های طبیعی و افزایش بهره‌وری آب و زمین، با ایجاد جریان نقدی مثبت از سال دوم (برداشت آویشن)، ریسک سرمایه‌گذاری بلندمدت را کاهش داده و به بهبود معیشت کشاورزان کمک می‌کند. نتایج این پژوهش مبنایی برای سیاست‌گذاری توسعهٔ کشت‌های تلفیقی در مناطق مشابه فراهم می‌آورد.

استناد: احمدلو؛ زهرا، رحیمی‌بدر؛ بیتا، اشراقی سامانی؛ رویا، بایرام‌زاده؛ ویلما، احمدلو؛ فاطمه (۱۴۰۵). ارزیابی عملکرد و سودمندی اقتصادی کشت تلفیقی آویشن باغی با صنوبر تبریزی در استان مرکزی. *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۹ (۳)، ۲۸۹–۲۶۹. DOI: https://10.22059/jfwp.2026.415236.1394

© نویسندگان.
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
https://doi.org/10.22059/jfwp.2026.415236.1394

۱. مقدمه

کشور ایران به‌دلیل تنوع چشمگیر اقلیمی، ظرفیت‌های متفاوتی برای تولید محصولات کشاورزی در مناطق مختلف دارد. تعیین الگوی برتر و پیشنهادی کشت برای هر منطقه، امکان برنامه‌ریزی دقیق‌تر و تحقق رشد اقتصادی پایدار در بخش کشاورزی را فراهم می‌آورد. با توجّه به نقش راهبردی کشاورزی در اقتصاد کلان کشور، ضروری است که سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها در جهت افزایش تولید، بهبود درآمد بهره‌برداران، مدیریت بهینه واحدهای زراعی و بیشینه‌سازی بهره‌وری از منابع محدود آب و زمین صورت گیرد. از سوی دیگر، این بخش با چالش‌های متعددی از جمله کمبود منابع آبی، کاهش سطح زیرکشت، فرسایش خاک و وابستگی به واردات برخی محصولات اساسی از جمله چوب مواجه است. وابستگی شدید به چوب وارداتی نه تنها فشار اقتصادی مضاعفی را بر کشور تحمیل می‌کند، بلکه انگیزه‌های لازم برای حفاظت از جنگل‌های طبیعی و توسعهٔ پایدار زراعت چوب را تضعیف می‌نماید. توسعهٔ زراعت چوب با اهداف بهینه‌ای همچون بهره‌برداری صحیح از منابع جنگلی و باغی، جلوگیری از تخریب جنگل‌ها و کاهش قاچاق چوب از اهمیت مضاعفی برخوردار است.

استفاده از زراعت چوب با گونه‌های تند رشد خارج از توده‌های طبیعی می‌تواند بهترین عامل برای کاهش فشار بر جنگل‌ها، تأمین نیاز صنایع و رونق اقتصادی باشد. با این حال، توسعهٔ زراعت چوب در ایران با مانع بزرگی به نام دیربازده بودن صنوبرکاری روبه‌رو است. نیازکشاورزان به کسب درآمد سالانه کوتاه‌مدت، مانع از تمایل آنان به سرمایه‌گذاری در درختکاری شده است. از این‌رو، اجرای سیستم‌های کشت تلفیقی (کشت درخت همراه با گیاهان زراعی) که کسب درآمد در سال‌های اولیهٔ زراعت چوب را در کنار سرمایه‌گذاری بلندمدت درختکاری امکان‌پذیر می‌سازد، یک الزام انکارناپذیر است [۱].

در سیستم‌های جنگل زراعی، درختان از طریق ریشه‌های عمیق خود، مواد غذایی شسته شده به اعماق خاک را جذب و به سطح باز می‌گردانند که این فرآیند نقش مهمی در بهبود حاصلخیزی خاک ایفا می‌کند. مطالعات بین‌المللی نشان داده‌اند که سیستم‌های مبتنی بر صنوبر به‌طورکلی مادهٔ آلی خاک را به‌دلیل افزایش ورودی لاشبرگ برگ‌ها و ترشحات ریشهٔ درختان بهبود می‌بخشند. با این حال، تحقیقات همچنین نشان می‌دهند که در مراحل اولیهٔ استقرار، ممکن است حاصلخیزی خاک روند نزولی داشته باشد، اما با افزایش سن درختان و تجمع لاشبرگ، این روند مثبت می‌شود. طبق یافته‌های پژوهشی، جنگل زراعی عمدتاً برای مناطقی توصیه می‌شود که اولویت اول کشاورزان درخت‌کاری و اولویت دوم آنان کشت محصولات زراعی باشد [۲].

صنوبرتبریزی (*Populus nigra* 62/154) به‌عنوان گونهٔ درختی اصلی این پژوهش، از جمله گونه‌های مهم و اقتصادی در زراعت چوب ایران به‌شمار می‌رود. این گونه در خاک‌های عمیق با بافت متوسط، pH بین ۵/۵ تا ۷/۵، حاصلخیزی بالا و اراضی مسطح یا دارای شیب ملایم بهترین رویش را دارد. مطالعات انجام گرفته در استان مرکزی نشان داده است که کلن‌های مختلف صنوبر سیاه عملکرد تولید چوب متفاوتی از خود بروز می‌دهند و انتخاب کلن مناسب براساس عملکرد تولید چوب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین بررسی تراکم درختان در سیستم جنگل زراعی نشان می‌دهد که تراکم ۵۰۰ و ۱۰۰۰ درخت در هکتار می‌تواند بهترین تراکم برای بهبود سلامت خاک باشد، هرچند که باید بین تولید محصول زراعی و چوب تعادل برقرار کرد [۳]. ضمناً با توجّه به گرایش روزافزون جامعه به استفاده از گیاهان دارویی طبیعی به‌منظور حفظ سلامتی، آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) به‌عنوان گونهٔ همراه این تحقیق انتخاب شد. این گیاه چندساله و بوته‌ای از خانوادهٔ نعناعیان است که دارای اسانس، برگ‌های معطر و ساقه‌ای علفی یا چوبی می‌باشد [۴]. تحقیقات نشان داده است که آویشن به خشکی مقاوم بوده و کم‌آبی را تحمل می‌کند [۵، ۶]. هرچند تنش خشکی رشد رویشی آویشن را کاهش می‌دهد، اما مطالعات نشان داده‌اند که می‌تواند متابولیت‌های ثانویه و اسانس آن را افزایش دهد که از نظر کیفی حائز اهمیت است. این ویژگی‌ها آویشن را به گزینه‌ای بسیار مناسب برای کشت در شرایط اقلیمی نسبتاً خشک استان مرکزی تبدیل کرده است.

اثبات مزیّت کشت تلفیقی بر کشت خالص یکی از ارکان اصلی تحقیقات جنگل زراعی است. براساس شاخص‌هایی چون نسبت برابری زمین[1] (LER) و شاخص سودمندی[2] (IA)، برتری سیستم‌های تلفیقی در منابع متعدد به اثبات رسیده است [۷]. مطالعات

[1] Land Equivalent Ratio
[2] Intercropping Advantage

پیشین در داخل کشور نشان داده‌اند که کشت تلفیقی صنوبر با گیاهانی نظیر یونجه، سیر، جو و گندم، منجر به کاهش هزینه‌ها، بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش قابل توجّه عملکرد اقتصادی می‌گردد [۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲]. یکی از پژوهش‌های کلیدی انجام شده در کشور، افزایش درآمد حاصل از کشت تلفیقی صنوبر و یونجه را به‌ترتیب ۱/۶، ۰/۶۹ و ۰/۴۱ برابر نسبت به کشت خالص در یک دورهٔ سه ساله گزارش کرده است.

در سطح بین‌المللی نیز مطالعات متعدد نشان داده‌اند که در سیستم‌های جنگل زراعی، استفاده از فواصل کاشت وسیع (مانند ۴×۴ یا ۶×۴ متر) و تراکم پایهٔ کمتر، ضمن افزایش نور و عناصر غذایی در دسترس گیاهان زیرکشت، موجب بهبود رشد قطری و حجمی درختان صنوبر و افزایش عملکرد محصولات همراه می‌شود [۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶]. با وجود پژوهش‌های فراوان در زمینهٔ کشت تلفیقی صنوبر با گیاهان علوفه‌ای و زراعی، خلأ دانشی قابل‌توجّهی در زمینهٔ کشت تلفیقی صنوبر با گیاهان دارویی به‌ویژه در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک ایران وجود دارد. بیشتر تحقیقات انجام شده در خصوص آویشن باغی عمدتاً بر روش‌های تکثیر، واکنش به تنش شوری، کاربرد کودهای زیستی و کشت مخلوط آن با گیاهان زراعی یکساله مانند سویا متمرکز بوده است [۱۷، ۱۸، ۱۹]، اما تاکنون پژوهشی که به ارزیابی عملکرد و سودمندی اقتصادی کشت ترکیبی صنوبرتبریزی (*Populus nigra* 62/154) با آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) در شرایط اقلیمی استان مرکزی پرداخته باشد، انجام نشده است [۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳].

هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی عملکرد و سودمندی اقتصادی کشت تلفیقی آویشن باغی با صنوبرتبریزی در استان مرکزی است. برای دستیابی به این هدف، اهداف جزئی زیر دنبال شده است: ۱) مقایسه و ارزیابی رویش قطری، ارتفاعی و موجودی حجمی صنوبر تبریزی در کشت خالص و تلفیقی با آویشن؛ ۲) مقایسه و بررسی صفات رشدی و عملکردی آویشن (شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، قطر تاج‌پوشش، وزن تر و خشک، عملکرد تر و خشک در هکتار) در دو سیستم کشت خالص و تلفیقی؛ ۳) ارزیابی کمّی شاخص‌های کلیدی سودمندی کشت تلفیقی از جمله نسبت برابری زمین (LER)، مجموع ارزش نسبی[1] (RVT)، تغییرات عملکرد واقعی[2](AYL) و شاخص سودمندی اقتصادی (IA) و ۴) تحلیل اقتصادی جامع و مقایسهٔ دقیق درآمد حاصل از دو سیستم کشت خالص و تلفیقی در یک دورهٔ پنج ساله (۱۴۰۳-۱۳۹۹).

با توجّه به یافته‌های پیشین، فرضیهٔ اصلی تحقیق بر این اصل استوار است که سیستم کشت تلفیقی صنوبرتبریزی-آویشن باغی از نظر بهره‌وری زمین و آب، عملکرد تولید هر دو گونه و سودآوری اقتصادی به‌طور معنی‌داری نسبت به سیستم‌های کشت خالص هر یک از دو گونه برتر است. علاوه بر این، انتظار می‌رود که کشت آویشن باغی به‌عنوان گیاه همراه ضمن ایجاد جریان نقدی مثبت در سال‌های ابتدایی پیش از بهره‌برداری اقتصادی از چوب صنوبر، تأثیر مثبت قابل‌توجّهی بر رویش قطری و حجمی درختان صنوبر داشته باشد. انتخاب گونه و چارچوب عملیاتی با توجّه به اینکه صنوبرتبریزی یک گونهٔ کاملاً نورپسند و سازگار با اقلیم معتدل و تابستان‌های خشک منطقه مورد مطالعه است [۲۴]، کلن صنوبر *Populus nigra* 62/154 با میانگین تولید ۳۳/۲۱ مترمکعب در هکتار در سال (به‌عنوان موفق‌ترین کلن معرفی‌شده برای استان مرکزی) برای کشت انتخاب شد. در نهایت، نتایج این پژوهش می‌تواند مدل کاربردی و مبنای علمی مناسبی برای سیاست‌گذاری در توسعهٔ کشت‌های تلفیقی در مناطق مشابه اقلیمی و بستری برای کاهش فشار بر جنگل‌های طبیعی از طریق توسعه زراعت چوب اقتصادی فراهم آورد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. منطقهٔ پژوهش

تحقیق حاضر در مزرعه‌ای در منطقهٔ عباس‌آباد شهرستان شازند از توابع استان مرکزی که در ۳۵ کیلومتری جنوب‌غربی اراک قرار دارد و دارای آب‌وهوای کوهستانی است به‌مدت پنج سال (۱۴۰۳-۱۳۹۹) انجام گرفت. موقعیت جغرافیایی عرصه ″۵۲ ′۵۲ °۳۳ عرض شمالی و ″۱۱ ′۲۲ °۴۹ طول شرقی است. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۹۰۰ متر می‌باشد. براساس آمار هواشناسی، میانگین بارش سالیانه ۵۷۰ میلی‌متر، حداقل دمای مطلق ۳۲/۵- درجهٔ سانتی‌گراد، حداکثر دمای مطلق ۳۶ درجهٔ سانتی‌گراد، میانگین دمای

[1] Relative Value Total
[2] Actual Yield Loss/ Gain

سالانه ۱۲ درجهٔ سانتی‌گراد، میانگین رطوبت سالیانه ۴۶ درصد و میانگین تبخیر سالیانه ۲۰۳۵/۷ میلی‌متر است. طبق فرمول دومارتن عرصهٔ یاد شده دارای آب و هوایی نیمه‌خشک است [۲۵]. از اوایل اردیبهشت تا نیمه شهریور، دورهٔ خشک همراه با وزش باد حاکم است و از اواخر شهریور با شروع بارش‌ها، دورهٔ تر آغاز می‌شود.

قبل از انجام این پژوهش، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک عرصهٔ مورد مطالعه در آزمایشگاه خاک مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی در سه تکرار تعیین شد. نتیجهٔ آزمایش نشان داد که بافت خاک منطقه لومی–رسی می‌باشد و با دارا بودن نسبت متعادلی از رس، لای و شن از مطلوبیت نسبی برای آبیاری و توسعهٔ ریشه برخوردار است. هدایت الکتریکی عرصه هم نشان داد که وضعیت شوری خاک مطلوب، اسیدیتهٔ خاک کمی قلیایی (pH برابر ۷/۷)، کربنات‌کلسیم متعادل، وضعیت پتاسیم مطلوب و درصد اشباع خاک هم متوسط می‌باشد که با نتایج به‌دست آمده، وضعیت فیزیکی خاک عرصه از نظر حاصلخیز بودن، مطلوب می‌باشد [۲۶].

۲–۲. روش اجرای پژوهش

تحقیق حاضر در زمینی به مساحت ۱۵۰۰ مترمربع به‌مدت پنج سال انجام شد (۱۴۰۳–۱۳۹۹). ابتدا در اسفند ماه ۱۳۹۹ ، تعداد ۶۲۵ اصله نهال‌یکساله صنوبر تبریزی (*Populus nigra* 62/154) به فاصلهٔ ۴×۲ متر از یکدیگر (فاصلهٔ بین ردیف‌ها ۴ متر و روی ردیف‌ها ۲ متر) کاشته شدند. همچنین ۵۰ اصله نهال اضافی به‌عنوان بافر (حاشیه) در اطراف مزرعه کشت شد. تراکم کاشت بر اساس ۱۲۵۰ اصله در هکتار محاسبه شد. در مهر ماه ۱۴۰۰، عملیات آماده‌سازی کاشت خالص گیاه‌آویشن باغی و کاشت تلفیقی شامل شخم، دیسک، تسطیح و احداث فارو بین ردیف‌های صنوبر انجام شد و در اواخر پاییز همان سال، گیاه‌آویشن باغی چندساله (*Thymus vulgaris*) به‌صورت کشت خالص و نیز کشت تلفیقی ما بین ردیف‌های صنوبرتبریزی به‌صورت نشاء و به روش دستی کاشته شدند.

طرح آماری مورد استفاده، بلوک‌های کاملاً تصادفی (RCBD) با سه تیمار و سه تکرار بود. تیمارهای آزمایشی شامل: ۱) کشت خالص صنوبرتبریزی، ۲) کشت خالص آویشن باغی، و ۳) کشت تلفیقی صنوبرتبریزی–آویشن باغی بودند. مساحت هر کرت آزمایشی ۵۰۰ مترمربع در نظر گرفته شد و در هر کرت، ۶۲۵ اصله صنوبرتبریزی کشت شد. برای کشت خالص آویشن نیز۵۰۰ مترمربع اختصاص یافت. پس از احداث فاروها، بلافاصله آبیاری مزرعه به روش آبیاری قطره‌ای انجام گرفت. در کشت خالص آویشن، نشاءها با تراکم ۲۰ بوته در مترمربع (فاصلهٔ ۲۵×۲۰ سانتی‌متر) و در کشت تلفیقی با تراکم ۱۰ بوته در مترمربع (فاصلهٔ ۵۰×۲۰ سانتی‌متر) بین ردیف‌های صنوبر کشت شدند. در طول هر فصل رویش، (تا اواخر آبان‌ماه)، نهال‌های صنوبرتبریزی و آویشن باغی، به‌صورت هفته‌ای یکبار آبیاری شدند. عملیات داشت مانند وجین علف‌های هرز به دفعات مورد نیاز و در ردیف‌های درختان کاشته شده به روش‌های دستی و مکانیزه انجام گرفت.

برای اندازه گیری صفات آویشن باغی، در هر تیمار و در هر تکرار، شش پلات یک مترمربعی به‌صورت تصادفی انتخاب شد و از گیاهان داخل پلات ها تیمار برداشت و اندازه‌گیری شد. در پایان هر فصل رویش، قطر برابر سینه (DBH) درختان صنوبرتبریزی با نوار قطرسنج با دقت میلی‌متر، و ارتفاع درختان صنوبرتبریزی با شاخص آلومینیومی با دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. این اندازه‌گیری‌ها به‌مدت پنج سال (۱۴۰۳–۱۳۹۹) ادامه یافت. سپس، رویش ارتفاعی و قطری و موجودی حجمی (در هکتار) درختان صنوبرتبریزی طبق معادلهٔ ۱ محاسبه شد.

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 \times h \times f$$ معادلهٔ ۱

V= حجم درخت سرپا به متر مکعب، d= قطر برابر سینه به متر، h= ارتفاع به متر، f= ضریب شکل درخت که در محاسبات ۰/۵ منظور شده است [۲۷].

ارتفاع بوتهٔ گیاه آویشن باغی با خط‌کش فلزی با دقت میلی‌متر اندازه‌گیری و برای تعیین وزن‌خشک، گیاه آویشن باغی به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد آون قرار داده شد تا خشک شود [۲۸]، سپس با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. عملکرد خشک آویشن باغی در هر پلات یک مترمربعی محاسبه و سپس برحسب کیلوگرم در هکتار گزارش شد.

شایان ذکر است که برداشت آویشن باغی در هر سال، طی سه نوبت (چین) انجام شد و مجموع وزن خشک سه چین، عملکرد سالانه را تشکیل داد. قابل ذکر است که زنده‌مانی تمامی درختان برای هر ۳ تیمار، صد در درصد به‌دست آمد.

برای ارزیابی کارایی کشت تلفیقی در مقایسه با کشت خالص، از شاخص نسبت برابری زمین (LER)[1] استفاده شد [۲۹]. این شاخص نشان می‌دهد که برای تولید مقدار محصول حاصل از یک هکتار کشت تلفیقی، چند هکتار زمین خالص (تک‌کشتی) مورد نیاز است. به‌بیان دیگر، LER بیانگر کارایی استفاده از زمین در سیستم کشت تلفیقی بوده و مقادیر بزرگتر از ۱ نشان‌دهندهٔ برتری کشت تلفیقی (همیاری مثبت) و مقادیر کوچکتر از ۱ نشان‌دهندهٔ رقابت منفی بین گونه‌ها است.

LER از مجموع عملکرد نسبی هر یک از گونه‌ها (صنوبرتبریزی و آویشن باغی) مطابق معادلهٔ ۲ محاسبه شد.

$$LER = \frac{PX}{KX} + \frac{PY}{KY}$$

معادلهٔ ۲

در معادلهٔ مذکور، PX عملکرد گونهٔ صنوبرتبریزی در کشت تلفیقی، KX عملکرد گونهٔ صنوبرتبریزی در کشت خالص (عملکرد نسبی جزء صنوبرتبریزی)، PY عملکرد گونهٔ آویشن باغی در کشت جنگل زراعی و KY عملکرد گونهٔ آویشن باغی در کشت خالص (عملکرد نسبی جزء محصول زراعی) می‌باشد. شایان ذکر است که محاسبه LER برای هر سال برداشت محصول (۱۴۰۱، ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳) به‌طور جداگانه انجام شد.

شاخص مجموع ارزش نسبی (RVT)[2] به‌عنوان یک معیار سودمندی اقتصادی، ارزش نسبی تولید در سیستم کشت تلفیقی را در مقایسه با کشت خالص نشان می‌دهد. این شاخص مطابق معادلهٔ ۳ محاسبه می‌شود:

$$RVT = \frac{aPX + bPY}{aKX}$$

معادلهٔ ۳

در این معادله، RVT شاخص مجموع ارزش نسبی، PX عملکرد گونهٔ صنوبر تبریزی در کشت تلفیقی، a قیمت محصول صنوبر تبریزی و PY عملکرد آویشن باغی در کشت تلفیقی، b قیمت محصول آویشن باغی و KX عملکرد صنوبر تبریزی در کشت خالص می‌باشد. مقادیر RVT بزرگتر از ۱ نشان‌دهندهٔ سودمندی اقتصادی کشت تلفیقی نسبت به کشت خالص صنوبرتبریزی است. قیمت هر کیلوگرم محصولات (چوب صنوبرتبریزی و آویشن باغی) به تفکیک سال‌های برداشت (۱۴۰۱، ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳) در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. قیمت هر کیلوگرم محصولات طی سه سال برداشت محصول

محصول	سال ۱۴۰۱	سال ۱۴۰۲	سال ۱۴۰۳
چوب صنوبر	۱۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰
آویشن باغی	۴۱۶۰۰۰۰۰	۵۲۰۰۰۰۰	۶۵۰۰۰۰۰

واحد تمامی ارقام، ریال می‌باشد.

شاخص عملکرد واقعی (AYL)[3] میزان کاهش یا افزایش عملکرد واقعی هر گونه در سیستم کشت تلفیقی را نسبت به کشت خالص نشان می‌دهد [۳۰]. این شاخص مطابق معادلهٔ ۴ محاسبه می‌شود:

$$AYL = AYL_a + AYL_b$$
$$AYL_a = \left[LER \times (\frac{100}{Z_{ab}}) - 1 \right]$$

معادلهٔ ۴

[1] Land Equivalent Ratio
[2] Relative Value Total
[3] Actual Yield Loss/ Gain

$$AYL_b = \left[LER \times (\frac{100}{Z_{ba}}) - 1 \right]$$

در این معادله، AYL_a کاهش یا افزایش عملکرد واقعی گونهٔ صنوبرتبریزی، Z_{ab} درصد گونه صنوبرتبریزی در کشت تلفیقی، AYL_b کاهش یا افزایش عملکرد واقعی گونهٔ آویشن باغی، Zb_a درصد گونهٔ آویشن باغی در کشت تلفیقی و LER شاخص نسبت برابری زمین می‌باشد. مقادیر مثبت AYL نشان‌دهندهٔ افزایش عملکرد واقعی (مزیّت کشت تلفیقی) و مقادیر منفی نشان‌دهندهٔ کاهش عملکرد واقعی (رقابت منفی) نسبت به کشت خالص است. در این پژوهش، با توجّه به مساوی بودن سطح زیرکشت هر دو گونه در سیستم تلفیقی، مقادیر Z_{ab} و Zba هر دو برابر ۰/۵ در نظر گرفته شد.

شاخص سودمندی اقتصادی کشت جنگل زراعی (IA)[1] میزان مزیّت اقتصادی حاصل از کشت تلفیقی صنوبرتبریزی و آویشن باغی را نسبت به کشت خالص نشان می‌دهد. این شاخص براساس تغییرات عملکرد واقعی دو گونه و قیمت بازار آنها محاسبه می‌گردد. رابطهٔ آن مطابق معادلهٔ ۵ است:

$$IA = \left[(\frac{a}{a+b}) \times AYL_b \right] + \left[(\frac{b}{a+b}) \times AYL_a \right]$$

معادلهٔ ۵

تفسیر شاخص IA به این صورت است که مقادیر مثبت نشان‌دهندهٔ سودمندی اقتصادی کشت تلفیقی (مجموع ارزش افزودهٔ حاصل از افزایش عملکرد دو گونه) و مقادیر منفی نشان‌دهندهٔ زیان اقتصادی نسبت به کشت خالص می‌باشد. لازم به ذکر است که این شاخص، اثر توأم تغییرات عملکرد و قیمت را در یک عدد منعکس می‌کند و برای مقایسهٔ سیستم‌های مختلف کشت بسیار کاربردی است.

۲-۳. روش تحلیل آماری

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۲ انجام شد. پیش از اجرای آزمون‌های آماری اصلی، پیش‌فرض‌های لازم شامل همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون[2] و نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف[3] بررسی شد که تأیید هر دو پیش‌فرض، امکان استفاده از آزمون‌های پارامتریک را فراهم آورد.

برای مقایسهٔ صفات رویشی صنوبرتبریزی (قطر برابر سینه، ارتفاع و حجم کل در هکتار) بین دو سیستم کشت خالص و تلفیقی، از آزمون تی‌تست مستقل[4] در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. برای بررسی اثر نوع کشت (خالص در مقابل تلفیقی) بر صفات رشدی و عملکردی آویشن باغی (شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، قطر تاج پوشش، وزن تر و خشک، عملکرد تر و خشک در هکتار) طی سه سال برداشت (۱۴۰۱، ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳)، از آزمون تحلیل واریانس دوطرفه با در نظر گرفتن عوامل «سال» و «نوع کشت» و اثر متقابل آنها استفاده شد. در صورت معنی‌دار شدن اثر تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد، مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در همان سطح معنی‌داری انجام شد. همچنین برای تخمین اجزای واریانس، از روش امید ریاضی[5] استفاده شد.

به‌منظور بررسی هم‌زمان شاخص‌های اقتصادی، مصرف آب و اشتغال‌زایی در سناریوهای مختلف کشت، یک مدل برنامه‌ریزی خطی[6] با تابع هدف حداکثرسازی بازدهٔ برنامه‌ای (سود خالص) تحت محدودیت‌های منابع آب، زمین و نیروی کار طراحی و حل شد. داده‌های ورودی این مدل براساس هزینه‌ها و درآمدهای واقعی استخراج‌شده از مزرعه (جداول ۱، ۸ و ۹) در بازهٔ زمانی پنج‌ساله (۱۴۰۳-۱۳۹۹) تعریف شد. خروجی حاصل از حل مدل بهینه‌سازی به‌صورت مقادیر بهینه بازدهٔ برنامه‌ای، مصرف آب و اشتغال‌زایی

[1] Intercropping Advantage
[2] Levene
[3] Kolmogorov-Smirnov
[4] Independent Samples T-test
[5] Expected Mean Squares
[6] Linear Programming

(نفر–روز) برای سه سناریوی کشت خالص صنوبر، خالص آویشن و کشت تلفیقی در جداول ۴، ۵ و ۷ ارائه شده است. لازم به ذکر است که مصرف آب در این مدل براساس نیاز آبی استاندارد گیاهان و سطح زیرکشت تعریف شده و بهره‌وری اقتصادی آب از نسبت درآمد ناخالص به حجم آب مصرفی محاسبه شده است.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

۳–۱. عملکرد صنوبرتبریزی

مقادیر این متغیرها برای درختان صنوبرتبریزی کشت‌شده در تلفیق با آویشن باغی، به تفکیک سال‌های مطالعه (۱۳۹۹ تا ۱۴۰۳) در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین مقادیر رویش جاری قطری (سانتی‌متر)، رویش جاری ارتفاعی (متر) و رویش جاری حجمی (مترمکعب در هکتار) برای درختان صنوبرتبریزی در سیستم تلفیقی، به تفکیک سال‌های مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که اثر نوع کشت (خالص در مقابل تلفیقی) بر متغیرهای رشد صنوبر در هر سه سال برداشت محصول (۱۴۰۱، ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳) از نظر آماری معنی‌دار است ($P<۰/۰۵$).

جدول ۲. قطر برابر سینه(سانتی‌متر)، ارتفاع(متر)، حجم کل(مترمکعب در هکتار) درختان صنوبر تبریزی در کشت خالص و تلفیقی با زیرکشت گیاه‌آویشن باغی به تفکیک سال برداشت

سال‌برداشت	نوع کشت	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	ارتفاع (متر)	حجم کل (مترمکعب در هکتار)
۱۳۹۹	خالص	(۰/۵۳)[a]	(۱/۶۴) [a]	(۰/۰۲) [a]
	تلفیقی	(۰/۵۵) [a]	(۱/۶۷) [a]	(۰/۰۳) [a]
۱۴۰۰	خالص	(۲/۱۴) [a]	(۳/۳۱) [a]	(۰/۷۹) [a]
	تلفیقی	(۲/۲۹) [a]	(۳/۲۴) [a]	(۰/۸۶) [a]
۱۴۰۱	خالص	(۵/۸۱) [a]	(۵/۳۷) [a]	(۹/۴۸) [a]
	تلفیقی	(۶/۰۵۳) [b]	(۵/۹۸) [b]	(۱۱/۲۱) [b]
۱۴۰۲	خالص	(۷/۹۱) [a]	(۶/۶۴) [a]	(۲۱/۴۷) [a]
	تلفیقی	(۹/۵۲) [b]	(۷/۳۲) [b]	(۳۳/۵۶) [b]
۱۴۰۳	خالص	(۱۰/۳۳) [a]	(۷/۸۱) [a]	(۴۲/۸۹) [a]
	تلفیقی	(۱۲/۰۷) [b]	(۸/۷۸) [b]	(۶۳/۴۶) [b]

* میانگین‌های همراه با حروف مشترک در هر ستون و هر سال، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند. (آزمون تی‌تست مستقل).

جدول ۳. رویش جاری قطری(سانتی‌متر)، رویش جاری ارتفاعی(متر)، رویش جاری حجمی(مترمکعب در هکتار) درختان صنوبر تبریزی در کشت خالص و تلفیقی با گیاه‌آویشن باغی به تفکیک دوره‌های رویش

سال‌برداشت	نوع کشت	رویش جاری قطری (سانتی‌متر)	رویش جاری ارتفاعی (متر)	رویش جاری حجمی (مترمکعب در هکتار)
۱۴۰۰–۱۳۹۹	خالص	(۱/۶۱) [a]	(۱/۶۵) [a]	(۰/۷۷) [a]
	تلفیقی	(۱/۶۴) [a]	(۱/۵۷) [a]	(۰/۸۳) [a]
۱۴۰۱–۱۴۰۰	خالص	(۳/۶۷) [a]	(۲/۰۷) [a]	(۸/۶۸) [a]
	تلفیقی	(۳/۷۶) [a]	(۲/۷۳) [a]	(۱۰/۳۵) [a]
۱۴۰۲–۱۴۰۱	خالص	(۲/۱۰) [a]	(۱/۲۷) [a]	(۱۱/۹۹) [a]
	تلفیقی	(۳/۴۶) [b]	(۱/۳۴) [b]	(۲۲/۳۵) [b]
۱۴۰۳–۱۴۰۲	خالص	(۲/۴۲) [a]	(۱/۱۶) [a]	(۲۱/۴۱) [a]
	تلفیقی	(۲/۵۴) [b]	(۱/۴۶) [b]	(۲۹/۸۹) [b]

* *میانگین‌های همراه با حروف مشترک در هر ستون و هر سال، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند.* (آزمون تی‌تست مستقل).

نتایج حاصل از حل مدل برنامه‌ریزی خطی بهینه‌سازی سود خالص در سیستم‌های مختلف کشت، شامل مقادیر بهینه بازده برنامه‌ای (سود خالص)، میزان مصرف آب و اشتغال‌زایی (نفر–روز) به‌تفکیک سال و سناریوی کشت در جداول ۴، ۵ و ۷ ارائه شده است.

جدول ٤. مقادیر بهینه بازدهٔ برنامه‌ای، میزان مصرف آب و اشتغال در کشت تلفیقی صنوبرتبریزی و آویشن باغی

شاخص	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	جمع
بازدهٔ برنامه‌ای (میلیون ریال)	-۲۰/۵۷۵	-۵۲۵	-۸۲/۹۰۰	۱۶۹/۱۲۰	۶۵/۱۲۰
آب (هزار متر مکعب)	۱۲۰۰	۱۵۵۰	۱۳۵۰	۱۳۵۰	۵۴۵۰
اشتغال (نفر– روز)	۲۰۰۰	۶۳۰۰	۶۳۰۰	۵۸۰۰	۲۰/۴۰۰

جدول ٥. مقادیر بهینهٔ بازدهٔ برنامه‌ای، میزان مصرف آب و اشتغال در کشت خالص صنوبرتبریزی

شاخص	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	جمع
بازده برنامه‌ای (میلیون ریال)	-۲۰/۵۷۵	-۵۲۸۵	۲۰/۷۴۰	۱۰۱/۳۶۰	۹۶/۲۴۰
آب (هزار متر مکعب)	۱۲۰۰	۱۰۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۳۸۰۰
اشتغال (نفر–روز)	۲۰۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۳۰۰	۳۹۰۰

۳–۲. عملکرد آویشن باغی

عملکرد گیاه‌آویشن باغی در کشت خالص و تلفیقی طی سه سال برداشت محصول (۱۴۰۳–۱۴۰۱) به شرح جدول ۶ می‌باشد. نتایج نشان داد که اثر نوع کشت برارتفاع بوته آویشن باغی، وزن خشک آویشن باغی و عملکرد خشک آویشن باغی، اختلاف معنی‌دار آماری ($P<۰/۰۵$) را در هر یک از سال‌های برداشت محصول (۱۴۰۱، ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳) نشان می‌دهد.

جدول ٦. عملکرد گیاه‌آویشن باغی(کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص و تلفیقی طی سه سال برداشت محصول(۱۴۰۱، ۱۴۰۲و۱۴۰۳)

سال‌برداشت	نوع‌کشت	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد شاخه در بوته	قطر تاج پوشش (سانتی‌متر)	وزن تر پلات (گرم)	وزن‌خشک پلات (گرم)	عملکرد تر آویشن (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد خشک آویشن (کیلوگرم در هکتار)
۱۴۰۱	تلفیقی	۲۸/۰۳	۱۶/۳۷	۳۴/۷۸	۵۳۵/۲۴	۲۳۷/۷۷	(۵۳۵۲/۴)[a]	(۲۳۷۷/۷)[a]
	خالص	۲۵/۴۲	۱۶/۶۴	۳۳/۸۶	۷۶۵/۷۹	۳۸۱/۹۴	(۷۶۵۷/۹)[b]	(۳۸۱۹/۴)[b]
۱۴۰۲	تلفیقی	۲۶/۴۹	۱۳/۲۴	۴۴/۹۵	۷۸۳/۲۹	۳۵۱/۹۴	(۷۸۳۲/۹)[a]	(۳۵۱۹/۴)[a]
	خالص	۲۷/۴۸	۱۷/۱۷	۴۲/۰۳	۸۲۸/۸۵	۴۰۱/۱	(۸۲۸۸/۵)[b]	(۴۰۱۱)[b]
۱۴۰۳	تلفیقی	۲۵/۸۶	۱۲/۲۳	۳۷/۹۵	۶۸۸/۸۸	۳۱۸/۳۶	(۶۸۸۸/۸)[a]	(۳۱۸۳/۶)[a]
	خالص	۲۷/۴۵	۱۷/۵۲	۳۹/۸۶	۷۴۰/۰۸	۳۴۶/۶۶	(۷۴۰۰/۸)[b]	(۳۴۶۶/۶)[b]

* میانگین‌های همراه با حروف مشترک در هر ستون و هر سال، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند. (آزمون تی‌تست مستقل).

جدول ۷. مقادیر بهینه بازده برنامه‌ای، میزان مصرف آب و اشتغال در کشت خالص آویشن باغی

شاخص	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	جمع
بازده برنامه‌ای (میلیون ریال)	-۲۰/۵۲۵	-۲۶۲۵	۵۹/۵۶۰	۱۲۹/۶۰۰	۱۶۶/۰۱۰
آب (هزار متر مکعب)	۲۱۰۰	۱۹۰۰	۱۷۰۰	۱۷۰۰	۷۴۰۰
اشتغال (نفر–روز)	۱۱۰۰۰	۹۸۰۰	۹۸۰۰	۹۳۰۰	۳۹/۹۰۰

سال ۱٤۰۱

تجزیه واریانس نوع کشت با آزمون T-test بر متغیرهای رویشی آویشن باغی در سال ۱۴۰۱ در جدول ۸ ارائه شده است. متغیرهای ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، عملکرد تر سرشاخه و عملکرد خشک سرشاخه اختلاف معنی‌دار آماری را نشان دادند و متغیر قطر تاج پوشش اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. بیشترین متغیرهای تعداد شاخه در بوته (۱۵/۳۶ عدد)، عملکرد تر سرشاخه

(۶۶۱۱/۱ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد خشک سرشاخه (۲۵۷۷/۸ کیلوگرم در هکتار) در کشت تلفیقی و بیشترین ارتفاع بوته (۲۶/۱۹ سانتی‌متر) در کشت خالص وجود دارد.

جدول ۸. آزمون T-test و مقایسهٔ میانگین صفات آویشن باغی در کشت تلفیقی و خالص در سال ۱۴۰۱

منابع تغییرات	Sig. (2-tailed)	t	درجه آزادی	کشت تلفیقی	کشت خالص
ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	۰/۰۰۰**	۹/۴۷۳	۱۰	۲۶/۱۹ (۰/۲۸)^{a}	۲۵/۲۵ (۰/۳۲)^{b}
تعداد شاخه در بوته (عدد)	۰/۰۰۰**	-۱۲۳/۰۱	۱۰	۱۰/۱۷ (۰/۲۵)^{b}	۱۵/۳۶ (۰/۲۶)^{a}
قطر تاج‌پوشش (سانتی‌متر)	۰/۱۹۲^{ns}	۱/۵۰۹	۱۰	۳۳/۶۵ (۱/۷۴)	۳۲/۷۲ (۱/۳۲)
عملکرد تر سرشاخه (کیلوگرم در هکتار)	۰/۰۰۴**	-۵/۰۱۸	۱۰	۵۳۰۵/۶ (۱۱۳/۹۶)^{b}	۶۶۱۱/۱ (۱۶۶/۷۳)^{a}
عملکرد خشک سرشاخه (کیلوگرم در هکتار)	۰/۰۰۰**	-۲۰۸/۹۳۴	۱۰	۲۰۳۶/۱ (۵۵/۳۲)^{b}	۲۵۷۷/۸ (۵۶/۳)^{a}

**: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد ns: عدم معنی‌داری اعداد داخل (): اشتباه معیار

سال ۱۴۰۲

تجزیه واریانس نوع کشت با آزمون T-test بر متغیرهای رویشی آویشن باغی در سال ۱۴۰۲ در جدول ۹ ارائه شده است به‌طوری که تمام متغیرهای مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار آماری را نشان دادند. بیشترین مقدار متغیرهای ارتفاع بوته (۲۷/۶۷ سانتی‌متر) و قطر تاج‌پوشش (۳۷/۸۱ سانتی‌متر) در کشت تلفیقی و بیشترین مقدار متغیرهای تعداد شاخه در بوته (۱۶/۹۲ عدد)، عملکرد تر سرشاخه (۷۷۸۶/۱ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد خشک سرشاخه (۲۹۶۹/۴ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص وجود دارد.

جدول ۹. آزمون T-test و مقایسهٔ میانگین صفات آویشن باغی در کشت تلفیقی و خالص در سال ۱۴۰۲

منابع تغییرات	Sig. (2-tailed)	t	درجه آزادی	کشت تلفیقی	کشت خالص
ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	۰/۰۴۳*	۲/۷۰۴	۱۰	۲۷/۶۷ (۰/۳۹)^{a}	۲۷/۳۱ (۰/۳)^{b}
تعداد شاخه در بوته (عدد)	۰/۰۰۰**	-۲۳/۱۵۵	۱۰	۱۲/۱۹ (۰/۲)^{b}	۱۶/۹۲ (۰/۱۳)^{a}
قطر تاج پوشش (سانتی‌متر)	۰/۰۰۰**	۹/۴۱۶	۱۰	۳۷/۸۱ (۱/۱۵)^{a}	۳۵/۸۹ (۱/۰۳)^{b}
عملکرد تر سرشاخه (کیلوگرم در هکتار)	۰/۰۰۰**	-۸/۸۲۲	۱۰	۶۲۴۱/۷ (۹۶/۴۳)^{b}	۷۷۸۶/۱ (۱۰۱/۷۵)^{a}
عملکرد خشک سرشاخه (کیلوگرم در هکتار)	۰/۰۰۰**	-۱۲/۴۰۶	۱۰	۲۴۷۷/۸ (۵۵/۸۲)^{b}	۲۹۶۹/۴ (۶۰/۱۳)^{a}

**: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد اعداد داخل (): اشتباه معیار

سال ۱۴۰۳

تجزیه واریانس نوع کشت با آزمون T-test بر متغیرهای رویشی آویشن باغی در سال ۱۴۰۳ در جدول ۱۰ ارائه شده است به‌طوری که تمام متغیرهای مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار آماری را نشان دادند. بیشترین مقدار متغیر ارتفاع بوته (۲۶/۹۳ سانتی‌متر) در کشت تلفیقی و بیشترین مقدار متغیرهای تعداد شاخه در بوته (۱۶/۱۴ عدد)، قطر تاج پوشش (۳۸/۷۲ سانتی‌متر)، عملکرد تر سرشاخه (۶۳۵۴ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد خشک سرشاخه (۲۴۲۵ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص وجود دارد.

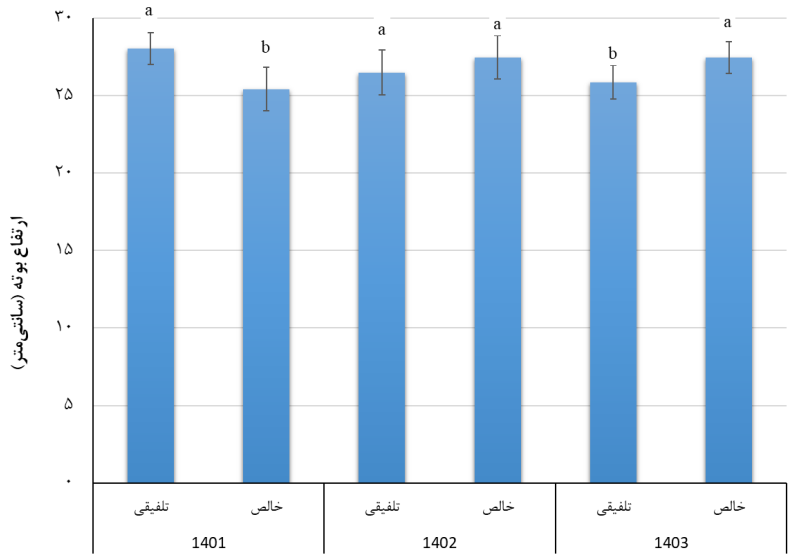
جدول ۱۰. آزمون T-test و مقایسهٔ میانگین صفات آویشن باغی در کشت تلفیقی و خالص در سال ۱۴۰۳

منابع تغییرات	Sig. (2-tailed)	t	درجه آزادی	کشت تلفیقی	کشت خالص
ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	۰/۰۰۰**	۹/۸۳۶	۱۰	۲۶/۹۳ (۰/۲۲)^{a}	۲۶/۲۸ (۰/۱۸)^{b}
تعداد شاخه در بوته (عدد)	۰/۰۰۰**	-۳۰/۳۱۷	۱۰	۱۱/۱۸ (۰/۱۵)^{b}	۱۶/۱۴ (۰/۱۶)^{a}
قطر تاج پوشش (سانتی‌متر)	۰/۰۰۰**	-۵۷/۲	۱۰	۳۶/۸۱ (۱/۰۵)^{b}	۳۸/۷۲ (۱/۰۳)^{a}
عملکرد تر سرشاخه (کیلوگرم در هکتار)	۰/۰۰۴**	-۴/۹۱۱	۱۰	۴۸۴۲ (۷۲/۹)^{b}	۶۳۵۴ (۲۴۳/۲)^{a}
عملکرد خشک سرشاخه (کیلوگرم در هکتار)	۰/۰۰۰**	-۲۷/۲۹۵	۱۰	۱۱۴۲ (۳۷/۸۱)^{b}	۲۴۲۵ (۴۲/۲۱)^{a}

**: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد اعداد داخل (): اشتباه معیار

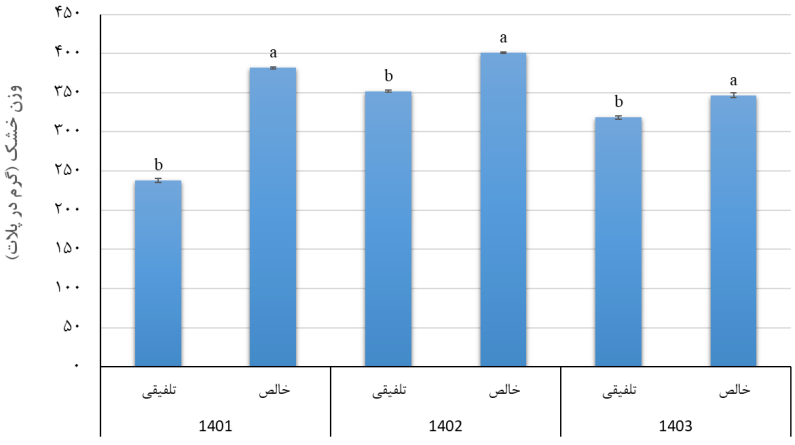
مطابق شکل ۱، نتایج حاصل از تحلیل آماری نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار در ارتفاع بوته‌ها بین دو تیمار کشت خالص و تلفیقی

در سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳ براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. بر این اساس، در سال ۱۴۰۱ میانگین ارتفاع بوته (۲۸/۰۳ سانتی‌متر) در کشت تلفیقی به‌طور معنی‌داری بیشتر از کشت خالص بوده است؛ در حالی‌که در سال ۱۴۰۳ روند معکوسی مشاهده شد و کشت خالص برتری آماری نشان داد (۲۷/۴۵ سانتی‌متر). در سال ۱۴۰۲، اختلاف ارتفاع بوته بین دو تیمار کشت از نظر آماری غیرمعنی‌دار بوده و هر دو در یک گروه آماری قرار گرفتند.



شکل ۱. مقایسهٔ ارتفاع بوته آویشن باغی در کشت تلفیقی و خالص طی سه سال برداشت محصول

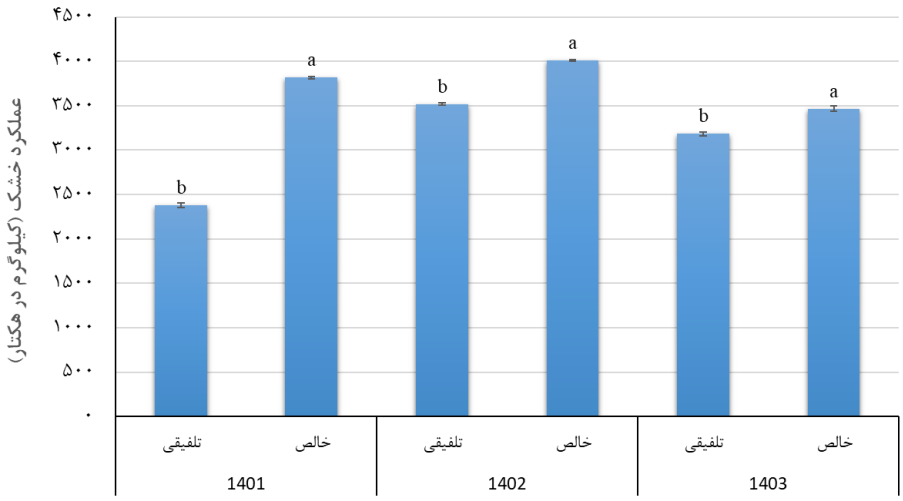
نتایج نشان می‌دهد که وزن خشک در کشت خالص در هر سه سال مورد بررسی، بیشتر از کشت تلفیقی بوده است. در سال‌های ۱۴۰۱، ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳، اختلاف بین دو تیمار کشت از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است. براساس نمودار، بیشترین وزن خشک در سال ۱۴۰۲ و در کشت خالص مشاهده شد (۴۰۱/۱ گرم)، در حالی که کمترین مقدار (۲۳۷/۷۷ گرم) مربوط به کشت تلفیقی در سال ۱۴۰۱ است (شکل ۲).



شکل ۲. مقایسهٔ وزن خشک آویشن باغی براساس گرم در پلات در کشت تلفیقی و خالص طی سه سال برداشت

نتایج نشان می‌دهد که عملکرد خشک آویشن باغی برحسب کیلوگرم در هکتار در کشت خالص در هر سه سال مورد بررسی،

بیشتر از کشت تلفیقی بوده است و نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۵ درصد بین تیمارها است.. در سال ۱۴۰۱، کمترین مقدار عملکرد خشک در کشت تلفیقی و بیشترین مقدار در کشت خالص مشاهده شد. در سال ۱۴۰۲ نیز همین روند ادامه داشت و کشت خالص بالاترین عملکرد را نشان داد. در سال ۱۴۰۳ نیز عملکرد خشک در کشت خالص همچنان بیشتر از کشت تلفیقی بود، هرچند اختلاف بین دو تیمار نسبت به سال‌های قبل کمتر است (شکل ۳). در ضمن درصد زنده‌مانی بوته‌های آویشن باغی در هر دو سیستم کشت خالص و تلفیقی در طول سه سال برداشت، ۱۰۰ درصد بود.



شکل ۳. مقایسهٔ عملکرد خشک آویشن باغی در کشت تلفیقی و خالص در طی سه سال برداشت

۳-۳. تحلیل اقتصادی

به‌منظور ارزیابی اقتصادی سیستم‌های مختلف کشت، هزینه‌ها و درآمدهای مربوط به هر تیمار طی دورهٔ پنج‌ساله (۱۴۰۳-۱۳۹۹) محاسبه شد. هزینه‌های استقرار و داشت در سال‌های ابتدایی (شامل اجارهٔ زمین، خرید نهال، آماده‌سازی زمین، آبیاری، وجین و هزینه‌های کارگری) براساس جدول ۸ محاسبه شد. درآمد حاصل از فروش چوب صنوبر و آویشن باغی نیز براساس عملکرد تولید (جداول ۲ و ۶) و قیمت‌های بازار (جدول ۱) برآورد شد. نتایج نشان داد که در سال پایانی (۱۴۰۳)، درآمد ناخالص حاصل از کشت تلفیقی معادل ۳۶۸/۸۷ میلیون تومان در هکتار بود که نسبت به کشت خالص صنوبر (۹۷/۵۸ میلیون تومان) افزایش چشمگیری داشته است. پس از کسر هزینه‌های تولید (جدول ۹)، سود خالص سالانه در کشت تلفیقی به ۲۷۰/۰۲ میلیون تومان در هکتار رسید، در حالی‌که این رقم برای کشت خالص صنوبر معادل ۸۵/۷۸ میلیون تومان محاسبه شد. همچنین براساس خروجی مدل برنامه‌ریزی خطی (جدول ۴)، سود خالص انباشتهٔ کل دورهٔ پنج‌ساله در کشت تلفیقی معادل ۶۵/۱۲۰ میلیون ریال در هکتار برآورد شد.

۳-۴. شاخص‌های سودمندی کشت تلفیقی

به‌منظور ارزیابی کارایی و سودمندی سیستم کشت تلفیقی صنوبر-آویشن، شاخص‌های نسبت برابری زمین[1] (LER)، مجموع ارزش نسبی[2] (RVT)، کاهش یا افزایش عملکرد واقعی[3] (AYL) و شاخص سودمندی اقتصادی کشت تلفیقی[4] (IA) محاسبه شد. نتایج نشان داد که مقدار LER جزئی صنوبر در کشت تلفیقی با آویشن باغی در سال‌های ۱۴۰۱، ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ به‌ترتیب ۱/۹۷، ۱/۸۶

[1] Land Equivalent Ratio
[2] Relative Value Total
[3] Actual Yield Loss/ Gain
[4] Intercropping Advantage

و ۱/۷۷ بود که همگی بزرگ‌تر از یک بودند و بیانگر اثر مثبت کشت تلفیقی بر عملکرد صنوبر می‌باشند. همچنین مقدار LER کل برای آویشن باغی بین ۲/۲۴ تا ۲/۷۶ متغیر بوده و میانگین آن ۲/۵۷ به‌دست آمد که نشان‌دهندهٔ بهره‌وری ۱۵۷ درصدی سیستم کشت تلفیقی نسبت به تک‌کشتی آویشن است.

شاخص مجموع ارزش نسبی (RVT) در کشت تلفیقی صنوبر با آویشن باغی برای سال‌های ۱۴۰۱، ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ به‌ترتیب ۰/۸۸، ۱/۲۵ و ۰/۵۵ محاسبه شد که میانگین آن ۰/۸۹ می‌باشد. مقدار شاخص کاهش یا افزایش عملکرد واقعی (AYL) برای آویشن باغی در سال‌های مذکور بین ۹/۹۷ تا ۱۲/۷۰ متغیر بوده و میانگین آن ۱۱/۶۸ به‌دست آمد که نشان‌دهندهٔ افزایش عملکرد واقعی در سیستم تلفیقی نسبت به کشت خالص است. شاخص سودمندی اقتصادی کشت تلفیقی (IA) نیز برای آویشن باغی در سال‌های ۱۴۰۱، ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ به‌ترتیب ۹/۳۶، ۹/۵ و ۷/۷۵ و به‌طور میانگین ۸/۸۷ محاسبه شد که همگی مثبت بوده و بیانگر سودمندی اقتصادی کشت تلفیقی در تمام سال‌های مورد مطالعه می‌باشند.

نتایج این تحقیق نشان داد که کشت تلفیقی صنوبرتبریزی با آویشن باغی نسبت به کشت خالص هر یک از دو گونه، از نظر رشد، عملکرد و سودآوری اقتصادی برتری معنی‌داری دارد. این یافته با نتایج مطالعات پیشین در زمینهٔ کشت تلفیقی صنوبر با گیاهان زراعی و علوفه‌ای همسو است [۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵]. به‌طور خاص، افزایش قطر برابر سینه و ارتفاع درختان صنوبرتبریزی در سیستم تلفیقی در مقایسه با کشت خالص (جدول ۲) نشان‌دهندهٔ اثر مثبت آویشن باغی بر شرایط ریزاقلیم و حاصلخیزی خاک می‌باشد. این مشاهده با پژوهش‌هایی که اثرات مثبت کشت تلفیقی بر بهبود مواد آلی خاک و افزایش عناصر غذایی را گزارش کرده‌اند، مطابقت دارد [۳۶، ۳۷].

یکی از یافته‌های کلیدی، افزایش چشمگیر حجم صنوبر در کشت تلفیقی (۲۹/۸۹ مترمکعب در هکتار) نسبت به کشت خالص (۲۱/۴۲ مترمکعب) در پایان دورهٔ پنج‌ساله بود. این افزایش حدود ۳۹/۵ درصدی را می‌توان به عوامل زیر نسبت داد: الف) کاهش رقابت علف‌های هرز به‌دلیل پوشش آویشن باغی، ب) بهبود تهویه و رطوبت خاک در اثر سایه‌اندازی نسبی درختان در سال‌های پایانی، ج) افزایش فعالیت میکروبی و چرخهٔ عناصر غذایی در سیستم ریشه‌های سطحی آویشن باغی و ریشه‌های عمقی صنوبرتبریزی [۳۸]. این یافته با گزارش Piotto و همکاران (۲۰۲۴) در ایتالیا که کشت تلفیقی صنوبر را موجب افزایش قطر درختان نسبت به تک‌کشتی دانسته‌اند، همخوانی دارد [۳۹]. مقدار شاخص نسبت برابری زمین (LER) محاسبه‌شده (با فرض مقدار <۱) بیانگر برتری کشت تلفیقی در استفاده از زمین است؛ به‌طوری که برای تولید همان محصول در سیستم خالص به زمین بیشتری نیاز است [۴۰]. همچنین شاخص مجموع ارزش نسبی (RVT) که در این تحقیق بیشتر از یک به‌دست آمد (با توجّه به قیمت‌های جدول ۱) تأیید می‌کند که ارزش اقتصادی تولید در واحد سطح در کشت تلفیقی به‌طور معنی‌داری بیشتر از تک‌کشتی صنوبر است. مقادیر مثبت AYL برای آویشن باغی نشان می‌دهد که این گونه نه تنها تحت سایه درختان دچار کاهش عملکرد نشده، بلکه از شرایط میکرواقلیمی ایجاد شده بهره‌مند شده است، موضوعی که در تحقیقات پیشین در مورد سایه‌پذیری آویشن باغی گزارش شده است [۴۱، ۴۲]. در این خصوص میزان هزینهٔ تولید یک هکتار صنوبرکاری در سال استقرار (۱۳۹۹) در فاصلهٔ کاشت ۴×۲ متر (جدول ۸) و همچنین سود اقتصادی حاصله در کشت خالص و تلفیقی صنوبرتبریزی در سال ۱۴۰۳ به شرح جدول ۹ ارائه شده است.

۳-۵. ارزیابی کارایی و سودمندی کشت خالص و تلفیقی صنوبرتبریزی و آویشن باغی

مزیّت کشت‌های تلفیقی در ارتباط با عملکرد نسبت به کشت خالص هر یک از اجزاء با نسبت برابری زمین بالاتر از یک نشان داده می‌شود. مقدار LER جزئی صنوبر در کشت تلفیقی صنوبرتبریزی با محصول زیرکشت آویشن باغی بالاتر از یک بود که نشان می دهد درخت صنوبر از کشت تلفیقی با این محصول اثر مثبت پذیرفته است. LER جزئی صنوبرتبریزی در کشت تلفیقی با آویشن باغی در سال‌های ۱۴۰۱، ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ به‌ترتیب ۱/۹۷، ۱/۸۶ و ۱/۷۷ به‌دست آمد. میانگین عملکرد نسبی جزء محصول زراعی (PY) و میانگین سه ساله آن در کشت تلفیقی کمتر از یک بود (۰/۷) که می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که محصول زیرکشت آویشن باغی در کشت تلفیقی با صنوبرتبریزی در سال اول بیشترین سود و در سال‌های بعدی سود کمتری برده‌اند. نسبت برابری زمین (LER) به‌عنوان کاربردی‌ترین معیار سودمندی کشت مخلوط در استفاده از منابع محیطی مطرح است که بیان‌کننده مقدار مساحت مورد نیاز زمین برای کشت خالص دو گونه در مقایسه با کشت مخلوط آنها جهت حصول عملکرد برابر هست. با توجّه به

نتایج، در هر سال کشت، میزان LER بیشتر از یک شده است که نشان‌دهنـده برتـری کشـت تلفیقی نسبت به تک کشتی در این الگوی کشت می‌باشـد.

جدول ۱۱. هزینه‌تولید یک هکتار صنوبرکاری در سال استقرار(۱۳۹۹) در فاصلهٔ کاشت ۴×۲ متر

ردیف	موضوع	واحد	تعداد	قیمت واحد (ریال)	بهای‌کل (ریال)
۱	اجارهٔ زمین با آب	هکتار	۱	۱۲۰/۰۰۰/۰۰۰	۱۲۰/۰۰۰/۰۰۰
۲	خرید کود دامی	کامیون	۴	۸/۰۰۰/۰۰۰	۳۲/۰۰۰/۰۰۰
۳	توزیع و پخش کود (بارگیری روی تریلی تراکتوری و انتقال و پخش یکنواخت در عرصه)	روز کار تراکتور	۱/۵	۱۰/۰۰۰/۰۰۰	۱۵/۰۰۰/۰۰۰
۴	آماده‌سازی عرصه‌کاشت (یک نوبت شخم عمیق، شخم، دیسک، ماله)	روز کار تراکتور	۲	۱۰/۰۰۰/۰۰۰	۲۰/۰۰۰/۰۰۰
۵	احداث جوی و پشته و چاله‌کنی با تراکتور	روز کار تراکتور	۱/۵	۱۰/۰۰۰/۰۰۰	۱۵/۰۰۰/۰۰۰
۶	خرید نهال صنوبر	اصله	۱۲۵۰	۶۰/۰۰۰	۷۵/۰۰۰/۰۰۰
۷	آبیاری ۴ روز یک‌بار در ۷/۵ ماه و ۵۵ نوبت (دو قطعه همزمان در روز توسط یک نفر آبیار)	نفر روز کارگر	۵۵	۱/۰۰۰/۰۰۰	۵۵/۰۰۰/۰۰۰
۸	آماده‌سازی مسیرهای آبیاری و پته‌بندی	نفر روز کارگر	۱۲	۱/۰۰۰/۰۰۰	۱۲/۰۰۰/۰۰۰
۹	علف‌تراش موتوری	نفر روز کارگر	۶	۱/۵۰۰/۰۰۰	۹/۰۰۰/۰۰۰
۱۰	وجین کار دستی	نفر روز کارگر	۲۱	۱/۰۰۰/۰۰۰	۲۱/۰۰۰/۰۰۰
۱۱	وسایل کشاورزی و کارگری (مصرفی)	–	–	–	۵۰/۰۰۰/۰۰۰
		جمع‌کل		۱۶۲/۵۶۰/۰۰۰	۴۲۴/۰۰۰/۰۰۰

جدول ۱۲. سود اقتصادی حاصله در کشت خالص و تلفیقی صنوبرتبریزی در سال ۱۴۰۳

فاکتورهای مؤثر در هزینه و درآمد	صنوبر خالص	صنوبر+آویشن
عملکرد صنوبر (کیلوگرم در هکتار)	۶۹۶۹/۸۳	۳۵۱۶/۳۵
عملکرد محصول زیرکشت (کیلوگرم در هکتار)	–	۱۱۴۲
قیمت فروش محصول(ریال)	۱۴۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰
هزینه عملیات داشت و برداشت تولید صنوبر (کارگری، وجین کردن و آبیاری) (میلیون تومان)	۱۱/۸	۵۲/۸۳
هزینه‌های تولید محصولات علوفه‌ای و زراعی (خرید بذر، عملیات داشت و برداشت) (میلیون تومان)	۰	۲۱/۱۴
مجموع‌کل هزینه‌ها (میلیون تومان)	۱۱/۸	۷۳/۹۷
درآمد ناخالص فقط از فروش چوب صنوبر (میلیون تومان)	۹۷/۵۸	۴۹/۲۳
درآمد ناخالص از طریق فروش محصول تولیدی زیرکشت (میلیون تومان)	۰	۳۱۹/۶۴
مجموع درآمدکل ناخالص (میلیون تومان)	۹۷/۵۸	۳۶۸/۸۷
سود خالص در هکتار (میلیون تومان)	۸۵/۷۸	۲۷۰/۰۲
ارزش خالص فعلی (میلیون تومان)	۸۴/۳۷	۲۶۵/۵۹
نسبت درآمد ناخالص به هزینه (BCR)	۸/۲۷	۳/۷۳

این نسبت بین ۲/۲۴ تا ۲/۷۶ برای آویشن‌باغی به‌دست آمده است و میانگین آن ۲/۵۷ می‌باشد. به‌عبارت دیگر، مقادیر میانگین LER نشان می‌دهد که سیستم‌های کشت تلفیقی در مقایسه با کشت تک محصولی آویشن باغی ۱۵۷ درصد بهره‌ورتر بودند. اضافه عملکرد به‌دست آمده را می‌توان به استفاده بهتر از منابع موجود توسط دو گیاه و اختلافات ریخت‌شناختی و اندام شناختی بین آنها در سیستم کشت تلفیقی نسبت داد. از طرف دیگر، اگر محصول زراعی آویشن باغی در زمین جداگانه به‌صورت تک محصولی کشت شود، ۱۵۷ درصد از زمین اضافی برای تولید بازدهی در سیستم‌های جنگل‌زراعی نیاز است. در نتایج Yang و

همکاران(۲۰۲۰). [۴۳] و Dai و همکاران(۲۰۲۱). [۴۴]، این نسبت ۱/۴۱ و ۱/۴۲ در کشت تلفیقی صنوبر با یونجه و Chauhan و همکاران(۲۰۱۳). [۴۵] این نسبت در محدودهٔ مقادیر ۱/۷۵ تا ۲/۲۸ در هر دو تناوب زراعی ماش، کاشت سیر یا پیاز در ترکیب با محصولات باغی و صنوبر نتیجه گرفته شد. در نتایج محققین عدد ۲/۲۸ در کشت تلفیقی نشان می‌دهد که اگر آنها به‌صورت تودهٔ خالص کشت شوند، ۱۲۸ درصد زمین بیشتری برای تولید هر سه محصول نیاز دارند و همچنین LER نشان می‌دهد که بهره‌وری مزرعه در یک هکتار منطقهٔ تحت کشت جنگل‌زراعی برابر با عملکرد محصول و درخت در سطح ۲/۲۸ هکتار زمین است که تحت سیستم کشت خالص رشد می‌کنند. یک مطالعه میدانی در آلمان در مورد کشت مخلوط گندم و جو با تراکم‌های مختلف صنوبر نشان داد که تولید بالاتر با LER در مقایسه با کشت‌های خالص از ۱/۱ تا ۱/۶ است [۴۶]. از این‌رو، حداکثر LER برای سیستم زراعی مبتنی بر صنوبر گزارش شد که نشان‌دهندهٔ یک رابطهٔ متقابل هم‌افزایی مثبت بین درختان و محصولات زیرکشت است. مقادیر برابر با یک، بزرگتر و کوچک‌تر از یک برای این شاخص به‌ترتیب بیان‌کنندهٔ عدم اختلاف بین کشت خالص و تلفیقی، برتری کشت تلفیقی نسبت به خالص و برتری کشت خالص نسبت به تلفیقی است.

مقدار مجموع ارزش نسبی [۱](RVT) از سال ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳ بین ۰/۵۵ تا ۱/۲۵ در آویشن باغی به‌دست آمد و میانگین آویشن باغی ۰/۸۹ بود. بنابراین کشاورزان در کشت تلفیقی صنوبرتبریزی با آویشن باغی ۰/۸۹ درآمد حاصل از تک‌کشتی صنوبر با آویشن باغی را به‌طور میانگین به‌دست خواهند آورد. نتایج این پژوهش در مقدار RVT نشان داد که در کشت تلفیقی صنوبرتبریزی و آویشن باغی به‌ترتیب ۰/۸۸، ۱/۲۵ و ۰/۵۵ برابر درآمد حاصل از تک‌کشتی صنوبرتبریزی و آویشن باغی را برای سال‌های اول و دوم و سوم برداشت به‌دست می‌آورند. شاخص مجموع ارزش نسبی بیان‌کننده وضعیت اقتصادی کشت تلفیقی نسبت به کشت خالص هست.

مقدار عملکرد واقعی [۲](AYL)، دیگر شاخص سودمندی مورد استفاده در این آزمایش برآورد شد. مقدار مثبت یا منفی عملکرد واقعی به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ سودمندی و زیان عملکرد کشت تلفیقی نسبت به کشت خالص هست. مقادیر بالاتر از یک برای این شاخص نشان‌دهندهٔ سودمندی اقتصادی کشت تلفیقی و مقادیر پایین‌تر نشان‌دهندهٔ عدم سودمندی اقتصادی در کشت تلفیقی و برتری کشت خالص هست. مقدار AYL از سال ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳ بین ۹/۹۷ تا ۱۲/۷ در آویشن باغی به‌دست آمد و میانگین آن ۱۱/۶۸ برای آویشن باغی بود. در اینجا لازم به ذکر است که برتری اقتصادی سیستم تلفیقی، با وجود عملکرد خشک کمتر آویشن در این سیستم (۳۰۲۷ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با کشت خالص (۳۷۶۵ کیلوگرم در هکتار)، هیچ‌گونه تناقضی ندارد. توضیح علمی این موضوع در شاخص عملکرد واقعی (AYL) نهفته است. در سیستم تلفیقی، تنها ۵۰ درصد از سطح زمین به آویشن اختصاص یافته است (چون نیمی از زمین زیر کشت صنوبر است). اگر آویشن در همین ۵۰ درصد زمین به‌صورت خالص کشت می‌شد، عملکرد مورد انتظار حدود ۱۸۸۲ کیلوگرم در هکتار بود. اما در کشت تلفیقی، این مقدار به ۳۰۲۷ کیلوگرم در هکتار رسیده است که به‌مراتب بیشتر از نصف عملکرد خالص است. این افزایش نسبی در شاخص AYL منعکس می‌شود. مقدار AYL برای آویشن برابر ۱۱/۶۸ مثبت و بزرگ‌تر از صفر محاسبه شده است که نشان می‌دهد آویشن در کشت تلفیقی از شرایط میکرواقلیمی مطلوب (از جمله سایه‌اندازی نسبی، کاهش تنش گرمایی و بهبود رطوبت خاک) بهره‌مند شده و عملکرد واقعی آن نسبت به سهمی که از زمین دارد، به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. بنابراین، کاهش عملکرد مطلق آویشن در تلفیقی، به‌دلیل کاهش سطح زیرکشت آن است و نه کاهش بهره‌وری در واحد سطح اشغالی؛ بلکه بهره‌وری در واحد سطح اشغالی بهبود یافته است. از سوی دیگر، ارزش اقتصادی بالای آویشن و همچنین افزایش چشمگیر تولید چوب صنوبر در سیستم تلفیقی (افزایش ۳۹ درصدی حجم چوب)، باعث می‌شود که سود نهایی سیستم تلفیقی به‌طور قابل‌توجّهی بیشتر از تک‌کشتی هر یک از دو گونه باشد.

عملکرد واقعی به‌عنوان شاخص تغییرات عملکرد واقعی کشت تلفیقی نشان داد که در همه نسبت‌های کشت تلفیقی، عملکرد واقعی نسبت به کشت خالص افزایش یافت. بنابراین ارزش عملکرد واقعی صنوبرتبریزی با آویشن باغی به‌عنوان اجزای جنگل‌زراعی مثبت است که به افزایش مجموع عملکرد واقعی این سیستم در هر سه سال مورد بررسی منجر شده است و بیان‌کنندهٔ سودمندی

[1]Relative Value Total
[2]Actual Yield Loss/ Gain

و بهره‌وری کشت جنگل‌زراعی برای تولید صنوبرتبریزی با آویشن باغی است. مقادیر شاخص سودمندی کشت تلفیقی (IA) ۹/۳۶، ۹/۵ و ۷/۷۵ برای آویشن در سال‌های ۱۴۰۱، ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ و به‌طور میانگین ۸/۸۷ برای آویشن باغی براساس قیمت واحد محصول به‌دست آمده است که نشان‌دهندهٔ سودمندی کشت تلفیقی در هر سه سال مورد مطالعه است و از نظر اقتصادی تا سه سال می‌توان بین ردیف‌های صنوبرتبریزی، گیاه آویشن باغی برداشت کرد. این امر احتمالاً ناشی از استفاده بهتر از منابع موجود مانند نـور، آب و مواد غذایـی در کشت‌های تلفیقی می‌باشد. مهمترین هدف در آزمایش‌های مزرعه‌ای، دستیابی به حداکثر عملکرد است. مقدار عملکرد محصول در یک منطقه تحت تأثیر عوامل مختلف ژنتیکی و محیطی و اثر متقابل این عوامل می‌باشد. شاخص‌های سودمندی نشان می‌دهد که اتخاذ یک سیستم مبتنی بر درخت به کشاورزان کمک می‌کند تا درآمد کل را افزایش دهند. با توجّه به اینکه در سال سوم کاشت، کشت تلفیقی سودمندی بالایی دارد بنابراین همچنان امکان کشت محصولات در بین ردیف‌های درختان صنوبر وجود دارد و اقتصادی است. تفاوت در سودمندی اقتصادی به‌دلیل اختلاف قیمت اجزای هر یک از محصولات تولیدی براساس آمار وزارت جهاد کشاورزی در سال مربوطه، میزان عملکرد و درصد هر یک از اجزاء در کشت تلفیقی می‌باشد. با توجّه به بیشتر بودن میانگین شاخص سودمندی گونهٔ آویشن باغی در طی سه سال برداشت، می‌توان این محصول را به‌عنوان محصول زیرکشت برتر در تلفیق با صنوبر تبریزی در شرایط آب و هوایی شهرستان شازند از نظر شاخص‌های زراعی و اقتصادی در نظر گرفت.

در زراعت‌های تلفیقی، سودمندی زمانی حاصل می‌شود که گیاهان تشکیل‌دهندهٔ کشت‌های تلفیقی از نظر نحوهٔ رشد، دریافت نور، میزان دستیابی به آب و میزان جذب عوامل مؤثر در رشد (عناصر غذایی) با یکدیگر متفاوت باشند، زیرا در این صورت رقابت برون گونه‌ای کمتر از رقابت درون گونه‌ای می‌شود و با کاهش رقابت، سودمندی کشت تلفیقی تضمین می‌شود. اختلاف ارتفاع، الگوی رشد متفاوت و تفاوت دورهٔ رویش دو اجزای درخت و گیاه زراعی، یکی از علل اصلی برتری کشت های تلفیقی نسبت به تک کشتی است. عملکرد بالای محصولات زیرکشت در سال اول کشت به اشغال آشیانه‌ای اکولوژیک متفاوت توسط دو گونه (یک محدوده و یک محیط مشخص برای توسعهٔ ریشه توسط هر یک از گونه‌ها در عمق‌های مختلف خاک)، شرایط زیستی مناسب، عدم رقابت بین گونه‌ای و همچنین استفاده بهینه از منابع رشد نسبت داده شده است که سبب سودمندی صنوبر در کشت‌های تلفیقی شده است.

در تحقیق حاضر میزان سود خالص در کشت تلفیقی صنوبر با محصول زیرکشت آویشن باغی در هر دو سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ مثبت بوده است. نسبت درآمد به هزینه نیز در کشت تلفیقی صنوبر در سال‌های مورد مطالعه بیشتر از یک به دست آمده است که سودمندی کشت را همچنان در سال سوم رویش نشان می‌دهد در حالی که این نسبت در کشت خالص بسیار کم است. Zheng و همکاران(۲۰۱۶) [۴۷]. دریافتند که کاشت یونجهٔ باغی (*Coronilla varia L.*) در زیر درختان سیب درآمد اقتصادی در واحد سطح یک باغ سیب را ۱۵/۷ تا ۳۶/۲۲ درصد افزایش داد. نسبت سود به هزینهٔ بالاتر برای سیستم کشت صنوبر با محصولات زراعی سورگوم–گندم در جهت جنوبی (۱/۶۸) و جهت شمالی (۱/۶۵) و جهت غربی (۱/۳۰) در برخی منابع گزارش شد [۴۸].

در مجموع اعمال روش‌هایی که بتوانند در سال‌های اولیه درآمد مناسبی برای کشاورزان داشته باشند و توأم با آن به کشت درخت به‌عنوان یک مؤلفهٔ اصلی بپردازد، ضرورت دارد [۴۹]. تقریباً ۹۵ درصد صنوبرها در هند به‌صورت تلفیقی با محصولات کشاورزی در ایالت‌های پنجاب، هاریانا، اوتارپرادش غربی و اوتراخاند کشت می‌شوند. در ایالت‌های پنجاب، هاریانا و اوتارپرادش، به‌دلیل کاهش قیمت چوب طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ گرایش مردم به کاشت صنوبرکاهش یافته بود [۵۰]. اما با اجرای کشت‌های آمیختهٔ صنوبر با نیشکر و گندم به‌صورت دوره‌ای علاوه بر افزایش درآمد روستاییان، سطح زیر کشت این درختان در سال‌های اخیر مجدداً توسعه یافت [۵۱]. تحقیقات Chauhan و همکاران(۲۰۱۳) [۵۲]. مؤید افزایش درآمد کشت‌های تلفیقی صنوبر تا دو و سه برابر نسبت به کشت خالص است.

بنابراین کشت‌های تلفیقی درختان صنوبر با محصولات زراعی–علوفه‌ای، از مؤثرترین راه‌های بهبود وضعیت معیشتی کشاورزان و احیای اراضی تخریب شده کشاورزی محسوب می‌شود و به نوعی دارای مزیّت‌های اقتصادی و اجتماعی هستند [۵۳]. انتخاب اجزای کشت تلفیقی باید براساس 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 [۵۴].

تحلیل اقتصادی پنج‌ساله نشان داد که با وجود زیان انباشته در سال‌های اول (به‌دلیل هزینه‌های استقرار صنوبر)، سال پایانی برداشت همزمان چوب و آویشن تمام زیان‌ها را جبران کرده و سود خالص ۶۵/۱۲۰ میلیون ریال در هکتار حاصل می‌شود. این الگو با نتایج Ahmadloo & Eskandari (۲۰۲۳). در مورد کشت تلفیقی صنوبر با یونجه هماهنگ است که افزایش درآمد ۱/۶ برابری را گزارش کرده‌اند [۵۵]. جریان نقدی مثبت در سال‌های میانی (برداشت آویشن باغی) نقش مهمی در کاهش ریسک و افزایش پذیرش سیستم توسط کشاورزان دارد. مقایسهٔ قیمت‌های جدول ۱ نشان می‌دهد که آویشن باغی به‌عنوان محصولی با ارزش افزوده بالا(قیمت هر کیلوگرم در سال ۱۴۰۳ حدود ۶/۵ میلیون ریال) می‌تواند انگیزهٔ اقتصادی قوی برای جایگزینی الگوهای کشت سنتی ایجاد کند. هرچند نوسان شدید قیمت آویشن باغی در سال‌های مختلف (از ۴۱/۶ میلیون ریال در ۱۴۰۱ به ۶/۵ میلیون در ۱۴۰۳) یک چالش محسوب می‌شود و نیازمند سیاست‌های حمایتی و ایجاد بازار پایدار است. با استناد به داده‌های جداول ۴، ۵ و ۷ الگوی مصرف آب در سناریوهای مختلف کشت به‌دقت قابل مقایسه است. نتایج نشان داد که کل مصرف آب در کشت تلفیقی (۵/۴۵۰ مترمکعب در هکتار) در مقایسه با کشت خالص آویشن (۷/۴۰۰ مترمکعب) حدود ۲۶ درصد کاهش یافته است که بیانگر صرفه‌جویی قابل‌توجّه آب نسبت به تک‌کشتی گیاه همراه می‌باشد. هرچند مصرف آب در کشت تلفیقی نسبت به کشت خالص صنوبر(۳۸۰۰ مترمکعب) افزایش نشان می‌دهد، اما این افزایش به‌دلیل تأمین نیاز آبی گیاه آویشن در کنار صنوبر است. از سوی دیگر، اگر بهره‌وری اقتصادی آب را براساس درآمد ناخالص به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی محاسبه کنیم (براساس داده‌های جدول ۹)، این شاخص در کشت تلفیقی معادل ۶۷/۷۰۰ ریال به ازای هر مترمکعب و در کشت خالص صنوبر معادل ۲۵/۶۰۰ ریال به‌ازای هر مترمکعب به‌دست می‌آید که حاکی از افزایش چشمگیر بهره‌وری اقتصادی آب در سیستم تلفیقی است. بنابراین، ادعای مقاله مبنی بر«افزایش بهره‌وری آب» براساس معیار ارزش اقتصادی تولید (درآمد ناخالص) مستند بوده و کاملاً با داده‌های تجربی و مدل بهینه‌سازی همخوانی دارد. همچنین ادعای«کاهش مصرف آب» به‌صراحت در مقایسه با کشت خالص آویشن مطرح شده و در این چارچوب کاملاً معتبر است.

به‌منظور شفاف‌سازی نحوهٔ محاسبهٔ سود خالص۶۵/۱۲۰ میلیون ریال در هکتار، ذکر این نکته ضروری است که این عدد نشان‌دهنده‌ی سود خالص انباشتهٔ (یا خالص تجمعی) کل دورهٔ پنج‌ساله (۱۳۹۹ تا ۱۴۰۳) است که از خروجی مدل برنامه‌ریزی خطی (جدول ۴) استخراج شده است. براساس نتایج این مدل، عملکرد اقتصادی سیستم تلفیقی در سال‌های ابتدایی با زیان مواجه بوده است (سال ۱۴۰۰: ۲۰/۵۷۵ میلیون ریال ضرر و سال ۱۴۰۱: ۵۲۵ میلیون ریال ضرر مالی) که عمدتاً ناشی از هزینه‌های استقرار نهال‌ها، آماده‌سازی زمین و عدم برداشت چوب در این سال‌ها می‌باشد. در سال ۱۴۰۲ نیز به‌دلیل تداوم هزینه‌های داشت (آبیاری، وجین و نگهداری) و همچنین کاهش عملکرد نسبی آویشن، زیان انباشته به رقم ۸۲/۹۰۰ میلیون ریال ضرر مالی رسید. اما در سال پایانی (۱۴۰۳)، با برداشت همزمان چوب صنوبر و آویشن باغی، درآمد ناخالص به‌طور چشمگیری افزایش یافت و سود خالص این سال به ۱۶۹/۱۲۰ میلیون ریال رسید که توانست تمام زیان‌های انباشتهٔ سال‌های قبل را پوشش داده و نهایتاً سود خالص کل دورهٔ پنج‌ساله را به ۶۵/۱۲۰ میلیون ریال برساند. در مقابل، جدول ۹ به‌صورت تفکیک‌شده، اجزای درآمد (فروش چوب و آویشن) و هزینه‌ها (هزینه‌های داشت، برداشت، آبیاری و هزینه‌های تولید محصولات زیرکشت) را صرفاً برای سال آخر (۱۴۰۳) نشان می‌دهد و سود خالص این سال خاص را معادل ۲۷۰ میلیون تومان (۲۷۰/۰۰۰ میلیون ریال) گزارش می‌کند. بنابراین، بین جدول ۴ و جدول ۹ نه‌تنها هیچ تناقضی وجود ندارد، بلکه جدول ۹ به‌عنوان مکمل جدول ۴ عمل کرده و جزئیات محاسباتی سود سال پایانی را با تفکیک کامل هزینه‌ها و درآمدها، برای خواننده شفاف‌تر می‌سازد.

با این حال، تحقیق حاضر دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد: اولاً، انجام آن تنها در یک مکان و با یک کلن خاص صنوبر، تعمیم نتایج را به سایر مناطق و ژنوتیپ‌ها با احتیاط مواجه می‌کند. ثانیاً، دورهٔ پنج‌ساله برای ارزیابی کامل اثرات بلندمدت کشت تلفیقی بر خصوصیات خاک (مانند شوری، مواد آلی، تراکم) کافی نیست و نیاز به مطالعات طولانی‌تر دارد.

۴. نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که کشت تلفیقی صنوبرتبریزی (*Populus nigra* 62/154) با آویشن باغی در شرایط

اقلیمی نیمه‌خشک استان مرکزی از نظر شاخص‌های ترکیبی و اقتصادی نسبت به کشت خالص هر یک از دو گونه برتری معنی‌داری داشته است. استقرار صنوبرتبریزی در سال اول بدون کشت همراه و سپس کشت آویشن باغی به‌صورت خالص و همچنین تلفیقی در بین ردیف‌ها از سال دوم به بعد می‌باشد. برداشت آویشن باغی در سال‌های دوم تا چهارم، جریان نقدی مثبتی ایجاد می‌کند و در سال پنجم برداشت همزمان چوب و آویشن باغی، ضمن جبران هزینه‌های اولیه، سود خالص قابل‌توجّهی (۶۵/۱۲۰ میلیون ریال در هکتار) به‌همراه دارد. بنابراین، ترویج این سیستم می‌تواند به توسعهٔ پایدار زراعت چوب، کاهش فشار بر جنگل‌های طبیعی، افزایش بهره‌وری آب و زمین و بهبود معیشت کشاورزان در مناطق مشابه کمک کنند.

با توجّه به یافته‌های این پژوهش، به‌منظور کاهش مصرف آب در زراعت چوب، استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای به جای آبیاری جویچه‌ای و کرتی توصیه می‌گردد. ضمناً از منظر سیاستی، حمایت از توسعهٔ شرکت‌های سهامی زراعی و جلوگیری از خرده‌مالکی و تفکیک اراضی، زمینه‌ساز اجرای الگوهای بهینهٔ کشت در مقیاس اقتصادی خواهد بود و ایجاد بازار پایدار و قیمت تضمینی برای محصولات دارویی مانند آویشن، ریسک نوسان قیمت را کاهش داده و انگیزه کشاورزان را افزایش می‌دهد. در نهایت، انجام تحقیقات بلندمدت (بیش از ده سال) برای ارزیابی اثرات کشت تلفیقی بر خصوصیات خاک و پایداری اکوسیستم، مطالعهٔ کشت تلفیقی صنوبر با سایر گیاهان دارویی و محصولات زمستانه در مناطق مختلف اقلیمی و همچنین بهینه‌سازی تراکم و الگوی کاشت به‌منظور حداکثرسازی بهره‌وری اقتصادی، از جمله اولویت‌های پژوهشی آینده به‌شمار می‌رود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

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

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله حامی مالی ندارد.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به طور مساوی در همه مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله مشارکت داشتند.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

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

References

[1] Ahmadloo, F., Calagari, M., Salehi, A. & Eskandari, S. (2022). Evaluation of economic productivity of poplar in combination with agricultural, fodder, and medicinal crops. *Journal* of *Iran Nature*, 7(2), 35-48. (In Persian) https://doi.org/10.22092/irn.2022.126676

[2] Goodarzi, Gh. & Ahmadloo, F. (2019). Introducing suitable cultivars in poplar research in Markazi province. Journal of *Iran Nature*, 4(3), 27-35. (In Persian)

[3] Calagari, M., Ghasemi, R., Asadi, F. & Baghery, 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]

[4] Ghasemi Pirbalouti, A., Emami Bistghani, F. (2015). An overview on genus Thymus. *Journal of Herbal Drugs*, 6 (2), 93-100. (In Persian)

[5] Mcgimpsey, J.A., Douglas, M.H.D., VanKlink, J.W, Beauregard, D.A. & Perry, N.B. (1994). Seasonal Variation in essential oil yield and composition from naturalized Thymus Vulgaris in New Zealand . *Flavour and Fragrance*, 9, 347-352.

[6] Azimi, M., Naqdi Badi, H., Kalateh Jari, S., Abdousi, V. & Mehrafarin, A. (2014). Comparison of chemical compositions of essential oils of thyme populations (*Thymus daenensis*, T. fallax and T. vulgaris). *Iran. Medicinal Plants,* 13(52), 136-146. (In Persian)

[7] Ahmadloo, F. & Eskandari, S. (2023). Performance evaluation and usefulness indices of agroforestry cultivation of Eurasian poplar and alfalfa in Karaj conditions. Journal of Crop and Horticultural *Production and Processing*, 13(4), 63-76. (In Persian)

[8]Ahmadloo, F. & Eskandari, S. (2023). Evaluation of yield, yield components and usefulness indices of intercropping of Eurasian poplar with garlic under Karaj conditions. Journal of Sustainable *Agricultural Sciences Research*, 3(2), 15-34. (In Persian)

[9]Asadi, F., Kalagri, M. (2019). Benefits of intercropping poplar with crops and forage crops. *Hyrcanian Forest Conservation and Utilization Extension Journal*, 1(1), 5-16. (In Persian)

[10] Nazari, M., Abbasi-Soraki, A. & Fallah, S. (2017). Studying the effect of agroforestry systems and conventional cultivation on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivam* L.) and barley (Hordeum vulgare L.). Journal of *Agricultural Ecology*, 9(1), 198-216. (In Persian)

[11] Asadi, F. & Khodakarimi, A. (2016). Intercropping of Populus alba and alfalfa in West Azerbaijan. *Iran Forest Journal*, 8(1), 51-65. (In Persian)

[12] Latifi, A., Ramyar, H. & Naseri, F. (2015). Investigating the impact of agroforestry systems on sustainable agricultural development. *First National Specialized Conference on Agricultural and Environmental Sciences of Iran*, pp. 1-9. (In Persian)

[13] Sadati, S.A. & Asadi, F. (2011). Introducing the intercropping of poplar with wheat in the plains of Mazandaran. Journal of *Hyrcanian Forest Conservation and Utilization*, 3(1), 27-38. (In Persian)

[14] Dash, U., Gupta, B., Bhardwaj, D.R., Sharma, P., Kumar, D., Chauhan, A., Keprate, A. & Das, J. (2024). Tree spacings and nutrient sources effect on turmeric yield, quality, bio-economics and soil fertility in a poplar-based agroforestry system in Indian Himalayas. *Agroforestry Systems*, 98(2), 911-931. https://doi.org/10.1007/s10457-024-00962-3.

[15] 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.

[16] Piotto, S., Panozzo, A., Pasqualotto, G., Carraro, V., Barion, G., Mezzalira, G., Furlan, L., Sterup Moore, S. & Vamerali, T. (2024). Phenology and radial growth of poplars in wide alley agroforestry systems and the effect on yield of annual intercrops in the first four years of tree age. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 361, 108814. https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108814

[17] Raisi, M., Peikarestan, B., Madani, H. & Farahvash, F. (2014). Effects of different levels of biofertilizers on thyme plant performance in Arak city. First International Congress and 13th National Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding and Third Conference on Seed Science and Technology, *Institute for Seed and Seedling Breeding and Production Research*, Karaj. Iran: pp. 1-5. (In Persian)

[18]Amighi, S.J., Askari, H.R. & Vahed, B.S. (2013). The effect of agroforestry system on soil surface layer properties (case study of Biarjomand region - Semnan province). *Crop Ecology*, 9(3),1-8. (In Persian)

[19] Zohraby, A., Atamidi, A., Safari, H. & Jafari, A.A.(2011). Investigating the sustainability of forage yield in accessions of the species Elymus hispidus using the AMMI model and other sustainability analysis methods in two stress and non-stress environments. Rangeland, 5 (2), 209-218. (In Persian)

[20] Chandra, J.P. (2011). Development of poplar-based agroforestry system. Indian *Journal of Ecology,* 38, 11-14.

[21] Calagari, M., Ghasemi, R., Asadi, F. & Baghery, 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)

[22] Emam, Y., Hosseini, A., Rafiee, N. & Pirasteh Anosheh, H. (2013). Response of early growth and sodium and potassium ions concentrations in ten barley (Hordeum vulgare L.) cultivars in salinity tension conditions. *Crop Physiology Journal,* 5(19), 5-15. (In Persian)

[23]Ahmadloo, F., Ghasemi, R., Kalagari, M. & Salehi, A.(2019). Phenomenological and vegetative and morphological characteristics of eight black poplar (*Populus nigra* L.) clones at Alborz Karaj Research Station. *Iranian Forest and Poplar Research*, 28(1), 30-43. (In Persian)

[24] Goodarzi, Gh. & Ahmadloo, F. (2019). Introducing suitable cultivars in poplar research in Markazi province. *Journal of Iran Nature*, 4(3), 27-35. (In Persian)

[25] Calagari, M., Ghasemi, R., Asadi, F. & Baghery, 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)

[26] Emam, Y., Hosseini, A., Rafiee, N. & Pirasteh Anosheh, H. (2013). Response of early growth and sodium and potassium ions concentrations in ten barley (Hordeum vulgare L.) cultivars in salinity tension conditions. *Crop Physiology Journal,* 5(19), 5-15. (In Persian)

[27]Ahmadloo, F., Ghasemi, R., Kalagari, M. & Salehi, A.(2019). Phenomenological and vegetative and morphological characteristics of eight black poplar (Populus nigra L.) clones at Alborz Karaj Research Station. *Iranian Forest and Poplar Research*, 28(1), 30-43. (In Persian)

[28] Emam, Y., Hosseini, A., Rafiee, N. & Pirasteh Anosheh, H. (2013). Response of early growth and sodium and potassium ions concentrations in ten barley (Hordeum vulgare L.) cultivars in salinity tension conditions. *Crop Physiology Journal,* 5(19), 5-15. (In Persian)

[29] Vandermeer, J.H. (1990). Intercropping, In C.R. Carroll, J.H. Vandermeer and P. Rosset (Eds.), Agroecology. McGraw– Hill publishing Co., New York, pp. 481-516.

[30] Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A. & Damalas, C.A. (2011). Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*, 34, 287-294.

[31]Ahmadloo, F. & Eskandari, S. (2023). Evaluation of yield, yield components and usefulness indices of intercropping of Eurasian poplar with garlic under Karaj conditions. *Journal of Sustainable Agricultural Sciences Research*, 3(2), 15-34. (In Persian)

[32]Asadi, F. &Kalagri, M. (2019). Benefits of intercropping poplar with crops and forage crops. *Hyrcanian Forest Conservation and Utilization Extension Journal*, 1 (1), 5-16. (In Persian)

[33] Nazari, M., Abbasi-Soraki, A. & Fallah, S. (2017). Studying the effect of agroforestry systems and conventional cultivation on yield and yield components of wheat (Triticum aestivam L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Agricultural Ecology*, 9(1), 198-216. (In Persian)

[34] Asadi, F., & Khodakarimi, A. (2016). Intercropping of Populus alba and alfalfa in West Azerbaijan. *Iran Forest Journal*, 8(1), 51-65. (In Persian)

[35] Latifi, A., Ramyar, H. & Naseri, F. (2015). Investigating the impact of agroforestry systems on sustainable agricultural development. *First National Specialized Conference on Agricultural and Environmental Sciences of Iran*, pp. 1-9. (In Persian)

[36] Ahmadloo, F. & Eskandari, S. (2023). Evaluation of yield, yield components and usefulness indices of intercropping of Eurasian poplar with garlic under Karaj conditions. Journal of Sustainable *Agricultural Sciences Research*, 3(2), 15-34. (In Persian)

[37] Sadeghi, A., Salehi, A., & Mousavi Cooper, S.A. (2015). The effect of pure and mixed planting of poplar and peanut on soil chemical properties (Case study: Fakhrabad Lasht-Nasha Agricultural Research Station). *Journal of Iran Forest Ecology*, 3(6), 28-35. [In Persian]

[38] Salehi, A., Ghorbanzadeh, N. & Kahneh, E. (2020). Soil microbial biomass, enzyme activity and nutrient cycling in a poplar (*Populus nigra*)-thyme (Thymus vulgaris) agroforestry system under semi-arid conditions. *Agroforestry Systems*, 94(4), 1525-1538.

[39] Piotto, S., Panozzo, A., Pasqualotto, G., Carraro, V., Barion, G., Mezzalira, G., Furlan, L., Sterup Moore, S. & Vamerali, T. (2024). Phenology and radial growth of poplars in wide alley agroforestry systems and the effect on yield of annual intercrops in the first four years of tree age. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 361, 108814. https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108814

[40] Vandermeer, J.H. (1990). Intercropping, In C.R. Carroll, J.H. Vandermeer and P. Rosset (Eds.), Agroecology. McGraw– Hill publishing Co., New York, pp. 481-516.

[41] Mcgimpsey, J.A., Douglas, M.H.D., VanKlink, J.W, Beauregard, D.A. & Perry, N.B. (1994). Seasonal Variation in essential oil yield and composition from naturalized *Thymus vulgaris* in New Zealand . *Flavour and Fragrance*, 9, 347-352.

[42] Raisi, M., Peikarestan, B., Madani, H. & Farahvash, F. (2014). Effects of different levels of biofertilizers on thyme plant performance in Arak city. First International Congress and 13th National Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding and Third Conference on Seed Science and Technology, *Institute for Seed and Seedling Breeding and Production Research*, Karaj. Iran: pp. 1-5. (In Persian)

[43] Yang, T., Zhu, Y., Duan, Z.P., Lu, W.H., Zhang, F.F., Wan, S.M., Xu, W.X., Zhang, W. & Li, L.H. (2020). Root distribution and productivity in a poplar tree + alfalfa silvopastoral system in northwest China's Xinjiang Province. *Agroforestry Systems*, 94(3), 997-1010. https://doi.org/10.1007/s10457-019-00466-5

[44] Dai, Y.S., Yang, T., Shen, L., Wang, X.Y., Zhang, W.L., Liu, T.T., Lu, W.H., Li, L.H. & Zhang, W. (2021). Root growth, distribution, and physiological characteristics of alfalfa in a poplar/alfalfa silvopastoral system compared to sole-cropping in northwest Xinjiang, China. *Agroforestry Systems*, 95 (2), 1137-1153. https://doi.org/10.1007/s10457-021-00639-1

[45] 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.

[46] Seserman, D.M., Veste, M., Freese, D., Swieter, A. & Langhof, M. (2018). Benefits of agroforestry systems for land equivalent ratio-case studies in Brandenburg and Lower Saxony, Germany. In Proceedings of the 4th European Agroforestry Conference-Agroforestry as Sustainable Land Use, Nijmegen, The Netherlands, 28–30 May 2018, 26-29.

[47] Zheng, W., Li, Y., Gong, Q., Zhang, H., Zhao, Z., Zheng, Z., Zhai, B. & Wang, Z. (2016). Improving yield and water use efficiency of apple trees through intercrop-mulch of crown vetch (*Coronilla varia* L.) combined with different fertilizer treatments in the Loess Plateau. Spanish Journal of *Agricultural Research*, 14(4), e1207.

[48] Chavan, S.B., Dhillon, R.S., Sirohi, C., Keerthika, A., Kumari, S., Bharadwaj, K.K., Jinger, D., Kakade, V., Chichaghare, A.R., Zin El-Abedin, T.K., Mahmoud, E.A., Casini, R., Sharma, H., Elansary, H.O. & Yessoufou, K. (2022). Enhancing farm income through boundary plantation of poplar (*Populus deltoides*): An economic analysis. *Sustainability*, 14(4), 8663. https://doi.org/10.3390/su14148663

[49]Asadi, F., Kalagri, M. (2019). Benefits of intercropping poplar with crops and forage crops. *Hyrcanian Forest Conservation and Utilization Extension Journal*, 1(1), 5-16. (In Persian)

[50] Dhiman, R.C. (2008). Evolution of poplar- based agroforestry in India. 23rd session *of International Poplar Commission*. 27-30 October (2008), Beijing, China, 52 p.

[51] Haque, M. (2014). Highest wood production by poplar (*Populus deltoides*) clones under agroforestry systems in Punjab state of India- a case study. *Word Congress on Agroforestry*, 10-14 Feb, Delhi.

[52] 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.

[53]Asadi, F. & Kalagri, M. (2019). Benefits of intercropping poplar with crops and forage crops. *Hyrcanian Forest Conservation and Utilization Extension Journal*, 1(1), 5-16. (In Persian)

[54] Tramacere, L.G., Sbrana, M. & Antichi, D. (2023). N2 use in perennial swards intercropped with young poplars, clone I-214 (*Populus* × *euramericana* (Dode) Guinier), in the mediterranean area under rainfed conditions. *Agronomy*, 13(7), 1761. https://doi.org/10.3390/agronomy13071761.

[55]Ahmadloo, F. & Eskandari, S. (2023). Evaluation of yield, yield components and usefulness indices of intercropping of Eurasian poplar with garlic under Karaj conditions. *Journal of Sustainable Agricultural Sciences Research*, 3(2), 15-34. (In Persian)