

Research Paper

Evaluation of yield and financial advantage of intercropping of poplar (*Populus nigra* 62/154) with alfalfa (*Medicago sativa* L.) at Saatlou poplar research station of Urmia

Jalal Henareh^{*1}, Fatemeh Ahmadloo² and Majid Pato³

1,*- (Corresponding author) Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Urmia, I. R. Iran. (j.henareh@areeo.ac.ir)

2- Assistant Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (ahmadloo@rifr.ac.ir)

3- Assistant Prof., Forests and Rangelands Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Urmia, I. R. Iran. (m.pato@areeo.ac.ir)

Received: 13 April 2024

Accepted: 01 June 2024

Extended Abstract

Background and Objective: Due to the increasing demand for wood in the country's timber industries and the implementation of the forest breathing plan, which prohibits logging in northern forests, combined with the challenges of importing wood because of costly and unstable currency exchange rates, there is a need to expand poplar plantations in appropriate areas. Although extensive poplar plantations exist in West Azerbaijan province, the lack of economic justification, particularly in the early years of tree growth, highlights the importance of integrating mixed-cropping systems in the northwest's climatic zone. The combination of poplar with alfalfa is especially beneficial, given alfalfa's role in livestock feed and West Azerbaijan's position as the second-largest alfalfa producer in the country. Additionally, mixed cropping is recognized for its ability to enhance productivity, serve as a primary income source for farmers, and improve soil fertility and resource utilization efficiency, making it a promising strategy for agroforestry. This study aims to evaluate the benefits of poplar-alfalfa intercropping in Urmia County's climatic conditions.

Material and Methods: The study was conducted at the Saatlui Poplar Research Station in Urmia, situated at 1338 meters above sea level and affiliated with the Agricultural and Natural Resources Research Center of West Azerbaijan Province, from 2019 (when cutting propagation began) to 2023. The *Populus nigra* 62/154 clone, which has demonstrated high wood production performance in compatibility tests, was selected as the tree component. Alfalfa (*Medicago sativa* L.), the Hamdani variety, was planted between poplar saplings in March 2021 (the year of planting), with a spacing of 2×4 meters (4 meters between rows and 2 meters within rows). Measurements for alfalfa characteristics were taken at harvest after each of the three cuts, and poplar tree measurements were recorded at the end of the growing season over three consecutive years: fall 2021, 2022, and 2023. Economic assessments and profitability comparisons for pure and mixed cropping systems were conducted using land equivalent ratio (LER), relative value total index (RVT), actual yield increase (AYL), and agroforestry utility index (IA).

Results: The results showed that the diameter at breast height, height, and volume stock of poplar trees were significantly different at the 5% probability level only in 2023, with the highest growth occurring in pure poplar plantations. Regarding alfalfa, significant differences in plant height were observed between pure and mixed cropping types and across three cuts for the years 2021-2023. In 2021 and 2022, plant height differences were significant at the 5% level, and in 2023, at the 1% level. Additionally, in 2021, plant height differences were significant at the 5% level, and in 2022, at the 1% level, under the interaction of cropping type and cut, while dry weight showed no significant differences. Alfalfa yield per hectare was higher in mixed cropping across all three harvest years, though no significant difference was found between pure and mixed cropping over the three years. The total relative value (RVT) was 1.80, 1.27, and 1.07 for 2021, 2022, and 2023, respectively, indicating that mixed cropping of poplar and alfalfa generated 1.80, 1.27, and 1.07 times more income than pure poplar and alfalfa cultivation in each respective year. The agroforestry utility index (IA) values were 4.80, 2.67, and 1.83 for 2021, 2022, and 2023, respectively, all greater than one and positive. Economic analysis for 2023 showed that pure poplar cultivation resulted in a negative profit (-18.75 million IRR), while mixed poplar and alfalfa cultivation generated a positive net profit of 14.16 million IRR per hectare.

Conclusion: This study demonstrates that mixed cropping was economically more beneficial than monoculture in all three years, with RVT values exceeding one and positive net profits. Overall, the research suggests that, despite traditional agroforestry systems in the region, these mixed systems offer higher profitability and economic returns compared to monoculture farming. If properly managed, such systems could have a positive impact on rural economies.

Keywords: Agroforestry, Land equality ratio, Urmia, Wood farming.

How to Cite This Article: Henareh, J., Ahmadloo, F., and Pato, M. (2025). Evaluation of yield and financial advantage of intercropping of poplar (*Populus nigra* 62/154) with alfalfa (*Medicago sativa* L.) at Saatlou poplar research station of Urmia. Forest Research and Development, 10(4), 453-477. DOI: [10.30466/jfrd.2024.55437.1733](https://doi.org/10.30466/jfrd.2024.55437.1733)



Copyright ©2024 Henareh et al. Published by Urmia University.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

ارزیابی سودمندی مالی و عملکرد کاشت تلفیقی صنوبر (*Populus nigra* 62/154) و یونجه (*Medicago sativa* L.) در ایستگاه تحقیقات صنوبر ساعتلوی ارومیه

جلال هناره^{۱*}، فاطمه احمدلو^۲ و مجید پاتو^۳

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگلها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران. (j.henareh@areeo.ac.ir)

۲- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (ahmadloo@rifr.ac.ir)

۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگلها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران. (m.pato@areeo.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۳

چکیده

مقدمه و هدف: با توجه به نیاز چوبی صنایع چوب کشور و از طرفی تصویب طرح تنفس جنگل و عدم برداشت چوب از جنگل‌های شمال کشور، مشکلات واردات چوب به دلیل گرانی ارز و عدم ثبات آن، نیاز است که سطح صنوبرکاری‌ها در مناطق مستعد توسعه یابد. با وجود گستردگی سطح صنوبرکاری در استان آذربایجان غربی، عدم توجه اقتصادی مناسب به‌ویژه در سال‌های اولیه زراعت چوب، ضرورت توجه به کشت‌های تلفیقی در اقلیم شمال‌غرب کشور اهمیت می‌یابد. کشت تلفیقی صنوبر با یونجه به دلیل اهمیت بالای یونجه در تغذیه دام و جایگاه آن در استان آذربایجان غربی به‌عنوان دومین تولیدکننده یونجه در کشور و همچنین با توجه به اهمیت کشت تلفیقی در افزایش عملکرد به‌عنوان منبع درآمد اولیه برای کشاورزان و تأثیر آن بر حاصلخیزی خاک و بهره‌وری حداکثری از منابع، می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مناسب در عملیات بی‌شهرزاعی باشد. این پژوهش نیز در این راستا و با هدف کمی‌سازی سودمندی کشت تلفیقی دالانی صنوبر و یونجه در شرایط اقلیمی شهرستان ارومیه انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در ایستگاه تحقیقات صنوبر ساعتلوی ارومیه با ارتفاع ۱۳۳۸ متر از سطح دریا، وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی در سال ۱۳۹۸ (سال کاشت قلمه) تا سال ۱۴۰۲ انجام شد. در این پژوهش از کلن موفق صنوبر تبریزی (*Populus nigra* 62/154) که در آزمایش‌های سازگاری از عملکرد تولید چوب بالایی برخوردار بوده است، به‌عنوان مؤلفه درختی استفاده شد. گیاه علوفه‌ای یونجه (*Medicago sativa* L.) رقم همدانی ما بین ردیف‌های نهال صنوبر کاشته شده در

اسفند ماه ۱۳۹۹ (سال کاشت نهال) به فاصله 2×4 متر (فاصله بین ردیف‌ها چهار متر و داخل ردیف‌ها دو متر)، در اوایل بهار ۱۴۰۰ مورد کاشت قرار گرفت. اندازه‌گیری صفات در یونجه، در فصل برداشت در سه چین و اندازه‌گیری درختان صنوبر در پایان فصل رویش در سه سال متوالی پاییز ۱۴۰۰، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ انجام شد. در پایان ارزیابی اقتصادی و سودمندی نسبی از درآمد حاصل از هر یک از کشت‌های خالص و تلفیقی نیز بر اساس شاخص‌های نسبت برابری زمین (LER)، شاخص مجموع ارزش نسبی (RVT)، مقدار افزایش عملکرد واقعی (AYL) و شاخص سودمندی کشت بیشه‌زراعی (IA) انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد مشخصه‌های قطر برابر سینه، ارتفاع و موجودی حجمی صنوبر فقط در سال ۱۴۰۲ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و بیشترین مقدار رشد این متغیرها در کشت خالص صنوبر به دست آمد. در ارتباط با کشت یونجه نیز اختلاف معنی‌دار آماری در مشخصه ارتفاع بوته یونجه تحت تأثیر دو نوع کشت خالص و تلفیقی و سه چین برداشت در هر سه سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ وجود داشت. ارتفاع بوته در چین‌های مختلف در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در سطح احتمال پنج درصد و در سال ۱۴۰۲ در سطح احتمال یک درصد اختلاف نشان داد. ارتفاع بوته در سال ۱۴۰۱ در سطح پنج درصد و در سال ۱۴۰۲ در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار آماری را تحت اثر متقابل نوع کشت در چین نشان داد در صورتی که متغیر وزن خشک یونجه در این مورد اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. بررسی عملکرد یونجه در هکتار نیز با وجود بالا بودن عملکرد در کشت تلفیقی در هر سه سال برداشت، تفاوت معنی‌داری در طول سه سال در نوع کشت خالص و تلفیقی نشان نداد. مقدار مجموع ارزش نسبی (RVT) $1/80$ ، $1/27$ و $1/07$ به ترتیب در سال‌های ۱۴۰۰، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به دست آمده است که نشان می‌دهد درآمد حاصل از کشت تلفیقی صنوبر و یونجه به ترتیب $1/80$ ، $1/27$ و $1/07$ برابر بیشتر از تک‌کشتی صنوبر و یونجه برای هر یک از سال‌های مورد بررسی است. مقادیر شاخص سودمندی کشت تلفیقی (IA) به ترتیب $4/80$ ، $2/67$ و $1/83$ در سال‌های ۱۴۰۰، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به دست آمده است که بیشتر از یک و مثبت است. محاسبات اقتصادی و سود حاصله صنوبر در کشت خالص و تلفیقی در سال ۱۴۰۲ نشان داد در کشت خالص صنوبر مقدار سود حاصله منفی است ($-18/75$) و سود خالص در کشت تلفیقی صنوبر و یونجه مثبت بوده و به $14/16$ میلیون تومان در هکتار در سال رسید.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش در هر سه سال کشت تلفیقی بر تک‌کشتی از نظر اقتصادی ارجحیت داشت به دلیل اینکه RVT بزرگتر از یک به دست آمده است و سود خالص مثبت بوده است. نتیجه‌گیری کلی این پژوهش مبین این موضوع است که با وجود سنتی بودن سیستم‌های بیشه‌زراعی منطقه، این سیستم‌ها سوددهی و بازده اقتصادی بالاتری نسبت به کشاورزی تک‌محصولی دارند، بنابراین اگر این سیستم‌ها به شیوه درستی مدیریت شوند، تأثیر مثبتی در اقتصاد روستایی خواهند داشت.

واژه‌های کلیدی: ارومیه، بیشه‌زراعی، زراعت چوب، نسبت برابری زمین.

(Krzyżaniak et al., 2019). از سوی دیگر طرح توقف بهره‌برداری صنعتی از جنگل‌های شمال ایران و ادامه نیاز روزافزون کارخانه‌ها به چوب صنعتی فرصت توجه جدی و برنامه‌ریزی برای اقدام علمی برای توسعه زراعت چوب در کشور ایجاد کرده است. بیشه‌زراعی شامل تلفیق زراعت و جنگلداری است. این عملیات سیستم خیلی ساده‌ای از بیشه‌زراعی است و عموماً هم در اراضی پست و هم در اراضی مرتفع اجرا می‌شود. محصولات زراعی زیرکشت نیز با تناوب مناسب، بسته به فصل، وضعیت بازار و برنامه کشاورز و مالک زمین کاشته می‌شوند (Shamekhi, 2006).

از مهم‌ترین جنس‌های گیاهی مورد استفاده در زراعت چوب، صنوبر (*Populus spp.*) است که با ۴۰ تا ۱۰۰ گونه (Asadi and Khodakarimi, 2016)، در سرتاسر جهان پراکنده شده است. در استان آذربایجان غربی به صورت غالب دو گونه تبریزی (*P. nigra*) و کبوده (*P. alba*) در عملیات زراعت چوب و بیشه-زراعی کشت می‌شود. فراوانی گونه تبریزی بیشتر مناطق مرکز و شمالی استان شامل شهرستان‌های ارومیه و خوی و گونه کبوده بیشتر در نواحی جنوب و جنوب شرقی، به ویژه در شهرستان میاندوآب در اراضی شور و قلیایی است. سه نهالستان در شهرستان‌های ارومیه، مهاباد و خوی در مجموع با ظرفیت تولید نزدیک به پنج میلیون اصله نهال صنوبر اصلاح‌شده در استان فعالیت می‌کنند. مصرف عمده چوب صنوبر در استان در صنایع ساختمانی، در و پنجره، خراطی، صنایع نئوپان و جعبه‌سازی است (Modirrahmati, 2016). استان آذربایجان غربی با دارا بودن ۳۲۳۷ هکتار سطح زیر کشت صنوبر در کشور پس از استان‌های گیلان و آذربایجان شرقی دارای رتبه سوم است (Mirakhorlou, 2020). ولی با وجود گستردگی سطح صنوبرکاری در استان آذربایجان غربی، عدم توجه

تغییرات اقلیمی و همچنین افزایش تقاضا برای سوخت‌های فسیلی در دهه‌های اخیر فشار بیشتری را بر عرصه‌های طبیعی و حتی کشاورزی مدیریت شده وارد کرده است. از سوی دیگر انتظارات و تعهدات بین‌المللی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین ایجاد شرایط مساعد برای ذخیره‌کربن در خاک و پوشش گیاهی به‌طور همزمان افزایش یافته است (Herder et al, 2017; Englund et al., 2021). از این-رو، اقتصاد سبز نیز به‌عنوان اقتصادی که از منابع زیستی تجدیدپذیر برای تولید انرژی، غذا و مواد استفاده می‌کند، به‌عنوان یکی از راهکارهای اصلی در مدیریت چشم‌انداز منابع زیستی در جهان معرفی شده است (D'Adamo et al., 2022). بیشه‌زراعی و عملیات کاشت تلفیقی درختان و گیاهان زراعی به‌طور قابل توجهی به تولید سوخت‌های زیستی کمک کرده و دارای پتانسیل بسیار بالایی در کاهش تغییرات آب‌وهوا و حفظ مواد مغذی خاک است (Sharma et al, 2016). از سوی دیگر می‌توان اصلاح حاصلخیزی خاک، حفاظت تنوع زیستی، ترسیب کربن و تولید بیوانرژی را از مزایای بوم‌شناسی و اقتصادی کاشت صنوبر در اراضی زراعی برشمرد.

بررسی‌های تاریخی نشان می‌دهد اولین استفاده‌های منسجم از سرزمین در ایران با کاربری‌های مرتعداری و زراعت آغاز شد و در شکل‌گیری نظم مکانی این استفاده‌ها در ایران، شرایط اقلیمی و محیطی نقش اساسی داشتند (Makhdoum, 1993). امروزه نقش سیستم‌های پایدار کاربری اراضی همچون سیستم‌های مختلف بیشه‌زراعی و کشت تلفیقی به‌عنوان راهکار مدیریتی چندمنظوره و مطلوب برای تولید مستمر و کاهش فشار بر منابع جنگلی شناخته می‌شود

تلفیقی صنوبر با محصولات زراعی و علوفه‌ای (بیشه- زراعی) نیز که سبب پرورش محصولات زیرکشت بین ردیف درختان صنوبر می‌شود، می‌تواند برای کشاورز انگیزه کشت صنوبر را با پتانسیل ایجاد درآمد تکمیلی مستمر ایجاد کند. مدیریت کاشت و بهره‌وری در این سیستم باید به گونه‌ای انجام شود که بتواند با به حداقل رساندن رقابت درون گیاهی برای بازدهی بالاتر، استفاده از منابع (فضا، تابش خورشید، مواد مغذی و رطوبت) را به حداکثر برساند (Parija et al., 2023).

بر اساس آخرین بررسی‌های مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سطح زیر کشت صنوبرکاری‌های کشور ۳۲ هزار هکتار برآورد شده است (Mirakhorlou, 2020). اگر وضعیت زراعت چوب در ایران با کشوری مانند ترکیه مقایسه شود کم-توجهی به توسعه زراعت چوب در کشور نمایان خواهد شد. ترکیه با مساحت ۷۷۸ هزار کیلومتر (کمتر از نصف مساحت ایران) ۲۲ میلیون هکتار جنگل و بیش از ۱۵۰ هزار هکتار مزرعه تولید چوب دارد. صنوبرکاری در ترکیه با استفاده از ارقام اصلاح‌شده داخلی و خارجی انجام می‌شود که سالانه نزدیک به شش میلیون مترمکعب چوب تولید می‌کنند (Semerci et al., 2021).

با توجه به نیاز چوبی صنایع چوب کشور و از طرفی تصویب طرح تنفس جنگل و عدم برداشت چوب از جنگل‌های شمال کشور، مشکلات واردات چوب به دلیل گرانی ارز و عدم ثبات آن، نیاز است که سطح صنوبرکاری‌ها در مناطق مستعد توسعه یابد. با این وجود اعمال روش‌هایی که بتوانند در سال‌های اولیه درآمد مناسبی برای کشاورزان داشته باشند و توأم با آن به کشت درخت صنوبر نیز به‌عنوان یک مؤلفه اصلی پردازد، بسیار ضرورت دارد. سیستم‌های بیشه‌زراعی عملاً امکان‌پذیر، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه، از

اقتصادی مناسب به‌ویژه در سال‌های اولیه زراعت چوب و نیاز به درآمد سالانه، ضرورت توجه به کشت‌های تلفیقی را روشن می‌کند. در پژوهشی، تأثیر فاصله کاشت بر ویژگی‌های کمی و کیفی سه توده دست کاشت صنوبر تبریزی در سه فاصله کاشت $1 \times 1/5$ ، نامنظم $1/5 \times 1$ و 3×1 متر در شهرستان ارومیه بررسی شد. نتیجه این بررسی نشان داد بین میانگین حجم محاسبه‌شده در هر سه توده با سه روش حجم‌یابی در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. همچنین حدود نیمی از درختان خمیده و بیشترین تعداد تنه‌های شکسته در توده با فاصله کاشت $1 \times 1/5$ متر مشاهده شد (Faal-khah et al., 2017). بررسی نقش فعالیت‌های آموزشی و ترویجی بر عملکرد زارعین صنوبر در شهرستان ارومیه نیز نشان داده است که ۶۶ درصد تغییرات متغیر کود حیوانی، ۶۲ درصد تغییرات متغیر کود شیمیایی، ۶۱ درصد تغییرات متغیر حجم آبیاری، ۸۱ درصد تغییرات متغیر دفعات آبیاری، ۶۷ درصد تغییرات متغیر وجین کردن، ۷۸ درصد تغییرات مبارزه با آفات، ۴۹ درصد تغییرات متغیر هرس کردن، ۵۶ درصد تغییرات متغیر شخم زدن و ۸۹ درصد تغییرات متغیر فاصله کاشت، متأثر از فعالیت‌های آموزشی و ترویجی است (Hajjarian and Hosseinzadeh, 2016).

پژوهش‌های متعددی در مورد سازگاری گونه‌های تندرشد مناسب زراعت چوب در مناطق مختلف جهان انجام شده است که می‌توان به تولید ارقام مقاوم به شوری خاک و آب (Chen and Polle, 2010)، شناسایی ارقام مناسب صنوبر برای کشت در ارتفاعات و اراضی شنی و ساحلی (Modirrahmati et al., 2015)، و اراضی شهری (Łukaszewicz et al., 2024) و تعیین رشد مناسب ارقام مختلف در رژیم‌های آبیاری مختلف (Bagheri et al., 2012) اشاره کرد. در کشت

توأم صنوبر با یونجه در فاصله کاشت ۴×۳ متر حاصل شده و بهترین عملکرد محصول زراعی و رویش حجمی درختان در سال چهارم نتیجه گرفته شده است (Asadi and Khodakarimi, 2016). بررسی کشت تلفیقی صنوبر کلن *P. nigra betulifolia* و یونجه در تیمارهای مختلف توسط (Asadi et al., 2012) نشان داد که فاصله کاشت ۳×۶ متر صنوبر با یونجه، ضمن تولید چهار تن ماده خشک یونجه در سال و هکتار و نیز تولید ۱۱ مترمکعب چوب بهترین عملکرد را ارائه داده است. نتایج آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی نشان می‌دهد که تولید یونجه در ایران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ حدود ۶/۱ میلیون تن با سطح زیرکشت ۵۶۶ هزار هکتار و متوسط عملکرد ۱۰/۸ تن در هکتار بوده است. از قطب‌های اصلی تولید یونجه در کشور می‌توان به استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، کرمان، همدان، اصفهان، فارس، خوزستان، زنجان، قزوین، چهارمحال و بختیاری، مرکزی و خراسان رضوی اشاره کرد (Akbari et al., 2023). اینگونه به‌طور موفقیت‌آمیزی با خاک و شرایط اقلیمی مختلف سازگاری دارد و به واسطه توانایی بالقوه تثبیت نیتروژن این گیاهان، نقش آنها در توسعه کشاورزی اجتناب‌ناپذیر است. گیاه علوفه‌ای یونجه (*Medicago sativa* L.) به‌علت کیفیت خوب، خوش خوراکی بالا و دارا بودن ذخایر غذایی مانند مواد معدنی، پروتئین و ویتامین‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. به‌دلیل اهمیت بالای یونجه در تغذیه دام و جایگاه آن در استان آذربایجان غربی به‌عنوان دومین تولیدکننده یونجه در کشور و همچنین با توجه به اهمیت کشت تلفیقی در افزایش عملکرد به‌عنوان منبع درآمد اولیه برای کشاورزان و تأثیر آن بر حاصلخیزی خاک و بهره‌وری حداکثری از منابع، گستردگی کشت یونجه در شمال‌غرب کشور و سازگاری بالا با شرایط اقلیمی

نظر اجتماعی قابل قبول و از نظر زیست‌محیطی مطلوب و پایدار هستند. فراوانی و تنوع سیستم‌های بیشه‌زراعی نشان می‌دهد که بهره‌برداران اراضی، این سیستم‌ها را به‌عنوان راه حلی برای برآورده‌سازی نیازهای خود و در عین حال حفاظت از منابع طبیعی به وجود آورده‌اند (Nair, 1993). بیشه‌زراعی سامانه‌ای نظام‌مند از مؤلفه‌ها در زمان و مکان مشخص است. تاکنون ۱۸ نوع عملیات بیشه‌زراعی در دنیا گزارش شده است (Chandra, 2011). مؤلفه‌های بیشه‌زراعی به‌صورت ترکیبی از گونه‌های درختی، زراعی و دامی هستند (Nair, 1993). برخی از بررسی‌ها نشان می‌دهند که در سیستم بیشه-زراعی با درختان، مقدار تنش‌های گرما و خشکی تا ۳۵ درصد کاهش می‌یابد و تثبیت محصول و افزایش پایداری عملکرد محصول بیشتر می‌شود (Reyes et al., 2021).

بهره‌وری سیستم‌های کشت تلفیقی به مجموع تولید تمام محصولات از جمله درختی و زراعی بستگی دارد که استفاده کارآمدتر از منابع و کاهش هزینه تولید و افزایش عملکرد را سبب می‌شود (Rivest et al., 2010). در سیستم‌های کشت تلفیقی با افزایش تاج پوشش درختان و کاهش مقدار نور دریافتی توسط محصولات زیرکشت، تولید آنها کاهش می‌یابد. بکارگیری برخی عملیات مدیریتی برای درختان مانند انتخاب گونه مناسب، فاصله کاشت و هرس می‌تواند تداوم تولید محصولات زیرکشت را به‌همراه داشته باشد (Deswal et al., 2014). در بررسی کاشت تلفیقی کلن صنوبر (*P. nigra betulifolia*) با یونجه در کرج، مناسب‌ترین تیمار فاصله کاشت برای کشت دالانی، فاصله کاشت ۳×۶/۶۶ متر صنوبر و یونجه در شرایط کرج معرفی شده است (Asadi et al., 2012). نتایج کشت تلفیقی صنوبر با یونجه در شرایط میان‌دوآب آذربایجان‌غربی نشان داد که بیشترین تولید در کشت

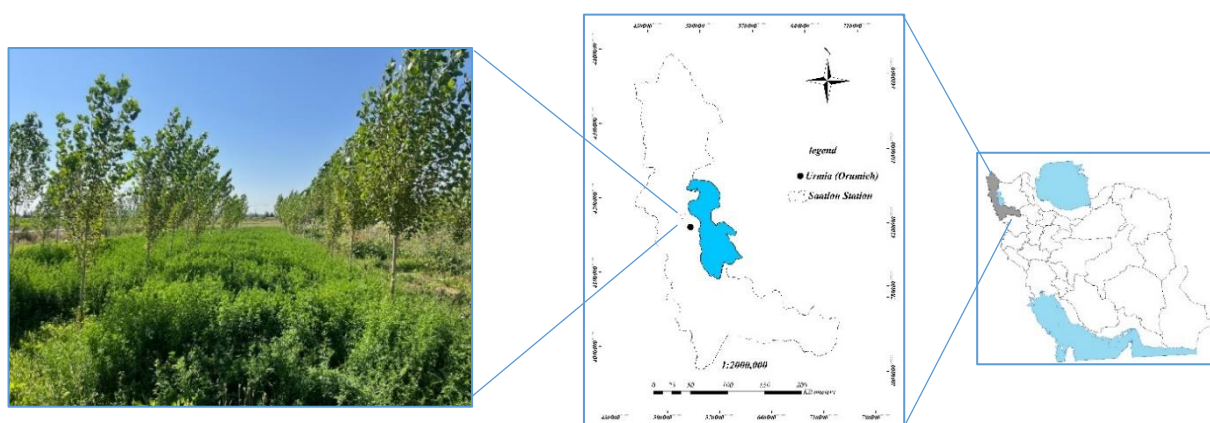
انجام شد (شکل ۱). متوسط بارندگی بلند مدت سالیانه محل پژوهش ۲۹۶ میلی متر است. این منطقه دارای اقلیم مدیترانه‌ای با زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک است. بافت خاک در این ایستگاه در افق‌های سطحی و مقطع کنترل بافت خاک به نسبت سنگین است. خاک ایستگاه تحقیقاتی محل پژوهش حاوی آهک به مقدار بین ۱۵ تا ۲۰ درصد است. همچنین اراضی این ایستگاه فاقد سنگ و سنگریزه بوده و دارای زهکشی مناسب و نفوذپذیری آهسته است. بر اساس استاندارد طبقه‌بندی اراضی در ایران، این اراضی در طبقات I و II طبقه‌بندی شدند (Ghaemian et al., 2015).

منطقه و عدم وجود آفات مشترک صنوبر و یونجه، این کشت می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مناسب در عملیات بیشه‌زراعی باشد. این پژوهش نیز در این راستا و با هدف کمی‌سازی سودمندی کشت تلفیقی صنوبر و یونجه در شرایط اقلیمی شهرستان ارومیه انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات صنوبر ساعتلو ارومیه با مختصات طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۱۰ دقیقه و ۵۳ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۴ دقیقه و ۱۸۰ ثانیه شمالی و ارتفاع ۱۳۳۸ متر از سطح دریا، وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی در سال ۱۳۹۸ تا سال ۱۴۰۲



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش در استان آذربایجان غربی، شهرستان ارومیه و نمایی از کشت تلفیقی صنوبر و یونجه در ایستگاه تحقیقات صنوبر ساعتلو

Figure 1. Geographical location of the study area in West Azerbaijani province, Urmia city and a view of intercropping of poplar + alfalfa in Saatloo poplar research station

در این پژوهش از کلن موفق صنوبر تبریزی (P. nigra 62/154) که در آزمایش‌های سازگاری از عملکرد تولید چوب بالایی برخوردار بوده است (Ahmadloo et al., 2020) به‌عنوان مؤلفه درختی استفاده شد. گیاه علوفه‌ای یونجه (*Medicago sativa*) رقم همدانی ما بین ردیف‌های نهال صنوبر کاشته شده

روش پژوهش

پژوهش پیش‌رو در زمینی به مساحت تقریبی ۱۵۰۰ مترمربع به مدت چهار سال انجام شد. عملیات آماده‌سازی زمین کاشت نهال شامل شخم، تسطیح و ایجاد جوی و پشته و پس از آن حفر چاله‌هایی با ابعاد ۶۰×۵۰ سانتی‌متر، در پاییز ۱۳۹۹ انجام شد.

مقدار یونجه هر پلات در هوای آزاد گلخانه به مدت ۱۵ روز نگهداری و خشک شده و سپس وزن خشک هر پلات توزین شد و عملکرد آن بر حسب کیلوگرم در هکتار به دست آمد.

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 \times h \times f \quad (۱) \text{ رابطه}$$

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 (Goodarzi et al., 2021).

صفات رویشی مورد بررسی برای صنوبر با استفاده از آزمون تی زوجی (Paired t-test) در دو سیستم کشت بیشه زراعی و خالص مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل مشخصه‌های یونجه نیز از طریق آزمون دو طرفه ANOVA مورد ارزیابی قرار گرفت. ابتدا شرط نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس داده‌ها به وسیله آزمون لون آزمون شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم افزار آماری (SPSS نسخه ۲۲) انجام شد. ارزیابی اقتصادی از هر یک از کشت‌های خالص و بیشه زراعی نیز بر اساس شاخص‌های زیر انجام شد. شاخص نسبت برابری زمین (LER/ Land Equality Ratio): این شاخص بر اساس سطح زمین زیر کشت محاسبه می‌شود و بیانگر این است که برای به دست آوردن مقدار محصولی که از یک هکتار کشت تلفیقی عاید می‌شود چه مقدار از زمین به صورت زراعت تک‌کشتی مورد نیاز است تا همان مقدار محصول برداشت شود (Vandermeer, 1990). این شاخص نشان‌دهنده درجه رقابت در کشت تلفیقی است. برای ارزیابی کشت بیشه زراعی نسبت به کشت خالص هر یک از محصولات، از شاخص نسبت برابری زمین (LER) طبق رابطه ۲ استفاده شد.

در اسفند ماه ۱۳۹۹ (سال کاشت نهال) به فاصله ۴×۲ متر (فاصله بین ردیف‌ها چهار متر و داخل ردیف‌ها دو متر)، در اوایل بهار ۱۴۰۰ مورد کاشت قرار گرفت. طرح آماری این پژوهش بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار (یونجه با صنوبر، تک‌کشتی صنوبر و تک‌کشتی یونجه) با شش تکرار است که سودمندی آنها بر اساس ارزش اقتصادی و ریالی مورد مقایسه قرار گرفت. تعداد اصله صنوبر در هر یک از کشت‌های بیشه زراعی و خالص (همراه با ۲ ردیف حاشیه به تعداد ۲۶ اصله) استفاده شد و مساحت ۱۵۰ مترمربع نیز برای گونه خالص یونجه مورد کاشت قرار گرفت.

در طی فصل رویش سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲، نهال‌های صنوبر و محصول یونجه هر هفته یکبار تا اواخر آبان‌ماه آبیاری شدند. با توجه به اینکه هیچ آفت و بیماری خاصی در درختان صنوبر مشاهده نشد عملیات مبارزه با آفات در صنوبر انجام نشد ولی برای مبارزه با کرم سرخرطومی برگ یونجه در ابتدای فصل رویش از سموم حشره‌کش استفاده شد. عملیات داشت مانند وجین علف‌های هرز به دفعات مورد نیاز و به صورت دستی و مکانیزه در ردیف‌های درختان انجام گرفت. قطر درختان صنوبر در محل ارتفاع برابر سینه با کولیس دیجیتالی تا دقت میلی‌متر و ارتفاع با شاخص تا دقت سانتی‌متر در پایان هر فصل رویش به مدت سه سال اندازه‌گیری و سپس رویش ارتفاعی و قطری تعیین و موجودی در هکتار درختان با استفاده از رابطه یک محاسبه شد. یونجه نیز به مدت سه سال از ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ هر ساله در سه چین (برداشت در فصول بهار و تابستان از خرداد تا شهریور) در شش قطعه نمونه یک مترمربعی (نمونه برداری) در هر تیمار کشت تلفیقی و خالص قطع و توزین شد و وزن تر (در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی در هر چین) و خشک آن محاسبه شد.

$$LER = \frac{PX}{KX} + \frac{PY}{KY} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این معادله، RVT: شاخص مجموع ارزش نسبی، PX: عملکرد صنوبر در بیشه‌زراعی، a: قیمت محصول صنوبر و PY: عملکرد یونجه در کشت بیشه-زراعی، b: قیمت محصول یونجه و KX: عملکرد صنوبر در کشت خالص است.

قیمت هر کیلوگرم محصولات بر حسب ریال در هر یک از سال‌های موردبررسی که از طریق متوسط قیمت فروش محصولات کشاورزی منتشر شده توسط وزارت جهاد کشاورزی مربوط به استان آذربایجان غربی کسب شده است در جدول ۱ ارائه شده است.

$$LER = \frac{PX}{KX} + \frac{PY}{KY} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این معادله، PX عملکرد گونه صنوبر در بیشه-زراعی، KX عملکرد گونه صنوبر در کشت خالص، PY عملکرد گونه یونجه در کشت بیشه‌زراعی و KY عملکرد گونه یونجه در کشت خالص است. برای تعیین این شاخص، عملکرد نسبی هر جزء صنوبر و یونجه محاسبه می‌شود و مجموع آنها مقدار LER را مشخص می‌کند.

شاخص مجموع ارزش نسبی (RVT/ Relative Value Total): شاخص مجموع ارزش نسبی به‌عنوان شاخص سودمندی اقتصادی طبق رابطه ۳ محاسبه شد.

جدول ۱- قیمت هر کیلوگرم محصولات بر حسب ریال در طی سه سال پژوهش

سال ۱۴۰۲	سال ۱۴۰۱	سال ۱۴۰۰	قیمت محصولات (کیلوگرم)
2023	2022	2021	Price of products (kg)
120000	100000	90000	صنوبر Poplar
69926	57380	44990	یونجه Alfalfa

واقعی گونه یونجه و AYL_a کاهش یا افزایش عملکرد واقعی گونه صنوبر است.

مقدار هزینه حاصل از یک هکتار کاشت، داشت و برداشت، مقدار درآمد ناخالص و سود خالص حاصل از یک هکتار کشت هر یک از محصولات تولیدی در سال آخر (پس از سه سال) محاسبه و سود و زیان هر یک از کشت‌ها آورده شد.

ارزش خالص فعلی (NPV/Net Present Value):

معیاری است که با توجه به نرخ تنزیل، ارزش حال خالص طرح‌ها را محاسبه می‌کند. در صورتی که NPV مثبت باشد، طرح توجیه‌پذیر است و سرمایه‌گذاری موردنظر درآمد قابل توجهی به همراه دارد که NPV طبق رابطه ۶ محاسبه شد (Chauhan et al., 2013).

مقدار افزایش عملکرد واقعی (AYL/ Actual)

(Yield Loss or Increase): این شاخص طبق رابطه ۴ از مجموع تغییر عملکرد واقعی هر جزء محاسبه شد.

$$AYL = AYL_a + AYL_b \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه، AYL_a : کاهش یا افزایش عملکرد واقعی گونه صنوبر، AYL_b : کاهش یا افزایش عملکرد واقعی گونه یونجه است.

شاخص سودمندی کشت بیشه‌زراعی (IA/ Index)

(Advantage): شاخص سودمندی اقتصادی کشت بیشه‌زراعی طبق رابطه ۵ محاسبه شد.

$$IA = \left[\left(\frac{a}{a+b} \right) \times AYL_b \right] + \left[\left(\frac{b}{a+b} \right) \times AYL_a \right] \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه، a قیمت محصول صنوبر، b قیمت محصول یونجه، AYL_b کاهش یا افزایش عملکرد

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار نسبت به یکدیگر بر اساس آزمون‌تی زوجی (Paired t-test) هستند. مشخصه‌های قطر برابر سینه، ارتفاع و موجودی حجمی فقط در سال ۱۴۰۲ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و بیشترین مقدار رشد این متغیرها در کشت خالص صنوبر به دست آمد. همچنین اثر نوع کشت اختلاف معنی‌دار آماری را در رویش جاری قطری و حجمی بین سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱ و در رویش جاری ارتفاعی و حجمی بین سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۲ نشان داد (جدول ۲).

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{(Bi - Ci)}{(1+r)^i} \quad (6) \text{ رابطه}$$

در این معادله، NPV: ارزش خالص فعلی سرمایه‌گذاری، Bi: درآمدها در زمان t، C هزینه‌ها در زمان t، r: نرخ تنزیل انتخاب شده (۲۰٪) و t: تعداد دوره‌های زمانی.

نتایج

عملکرد صنوبر

تجزیه واریانس رویش ارتفاعی، قطری و حجمی درختان صنوبر تحت تیمار در هر دو کشت خالص و تلفیقی در سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲، نشان داد که

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) رویش جاری و مقدار شاخص‌های رویشی درختان صنوبر در کشت خالص و تلفیقی با یونجه در طی سه سال پژوهش

Table 2. ANOVA (mean square) of increment at growth and the amount of growth parameters of poplar trees in cultivations of sole and intercropping with alfalfa at three years of research.

کشت خالص صنوبر Sole culture of poplar	میانگین کشت تلفیقی صنوبر با یونجه Intercropping poplar with Alfalfa	T- test	منابع تغییرات Sources of Variation	سال Year
0.31(0.00) ^a	0.32(0.00) ^a	- 0.031 ^{ns}	رویش جاری قطر برابر سینه (سانتی‌متر) Diameter at breast height increment (cm)	۱۴۰۰
0.48(0.01) ^a	0.56(0.02) ^a	- 0.281 ^{ns}	رویش جاری ارتفاع (متر) Height increment (m)	۱۳۹۹ 2020- 2021
0.073(0.00) ^a	0.071(0.00) ^a	- 0.027 ^{ns}	رویش جاری حجم (مترمکعب در هکتار) Volume increment (m ³ ha ⁻¹)	
0.93(0.09) ^a	0.43(0.02) ^b	6.618*	رویش جاری قطر برابر سینه (سانتی‌متر) Diameter at breast height increment (cm)	۱۴۰۱
0.77(0.1) ^a	0.33(0.02) ^a	3.155 ^{ns}	رویش جاری ارتفاع (متر) Increment at height (m)	۱۴۰۰ 2021- 2022
0.35(0.07) ^a	0.11(0.03) ^b	5.003*	رویش جاری حجم (مترمکعب در هکتار) Volume increment (m ³ ha ⁻¹)	

^{ns} و * به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و سطح اطمینان ۹۵ درصد است، حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار سال‌های مختلف است. ns and * respectively indicate thenon-significant and significant at 95 percent confidential level. Numbers with different letters indicate significant differences in different years.

ادامه جدول ۲.

Continued table 2.

کشت خالص صنوبر Sole culture of poplar	میانگین کشت تلفیقی صنوبر با یونجه Intercropping poplar with Alfalfa	T- test	منابع تغییرات Sources of Variation	سال Year
1.64(0.15) ^a	0.86(0.09) ^a	3.491 ^{ns}	رویش جاری قطر برابر سینه (سانتی متر) Diameter at breast height increment (cm)	۱۴۰۲
1.31(0.07) ^a	0.44(0.02) ^b	4.574 [*]	رویش جاری ارتفاع (متر) Height increment (m)	۱۴۰۱
2.04(0.06) ^a	0.53(0.04) ^b	5.374 [*]	مترمکعب در هکتار) رویش جاری حجم Volume increment (m ³ ha ⁻¹)	2022-2023
0.77(0.05) ^a	0.83(0.03) ^a	- 0.272 ^{ns}	قطر برابر سینه (سانتی متر) Diameter at breast height (cm)	
1.8(0.2) ^a	1.86(0.05) ^a	- 0.183 ^{ns}	ارتفاع (متر) Height (m)	۱۴۰۰
0.09(0.05) ^a	0.09(0.01) ^a	- 0.002 ^{ns}	موجودی حجمی (مترمکعب در هکتار) Volume (m ³ ha ⁻¹)	2021
1.7(0.19) ^a	1.26(0.07) ^a	3.205 ^{ns}	قطر برابر سینه (سانتی متر) Diameter at breast height (cm)	
2.56(0.09) ^a	2.19(0.06) ^a	1.69 ^{ns}	ارتفاع (متر) Height (m)	۱۴۰۱
0.44(0.03) ^a	0.2(0.02) ^a	2.18 ^{ns}	موجودی حجمی (مترمکعب در هکتار) Volume (m ³ ha ⁻¹)	2022
3.34(0.08) ^a	2.12(0.04) ^b	5.882 [*]	قطر برابر سینه (سانتی متر) Diameter at breast height (cm)	
3.87(0.12) ^a	2.63(0.08) ^b	7.507 [*]	ارتفاع (متر) Height (m)	۱۴۰۲
2.48(0.15) ^a	0.73(0.1) ^b	4.609 [*]	موجودی حجمی (مترمکعب در هکتار) Volume (m ³ ha ⁻¹)	2023

^{ns} و * به ترتیب نشان دهنده عدم سطح معنی داری و سطح اطمینان ۹۵ درصد است، حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی دار سال‌های مختلف است. ns and * respectively indicate thenon-significant and significant at 95 percent confidential level. Numbers with different letters indicate significant differences in different years.

عملکرد یونجه

پنج درصد و در سال ۱۴۰۲ در سطح یک درصد اختلاف معنی دار آماری را تحت اثر متقابل نوع کشت × چین نشان داد در صورتی که متغیر وزن خشک یونجه در این مورد اختلاف معنی داری را نشان نداد (جدول ۳).

در شکل ۲ میانگین‌هایی با حروف غیرمشابه مربوط به هر سال دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد در بین میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن هستند. نتایج سه چین برداشت یونجه در طول سه سال پژوهش نشان داد ارتفاع بوته یونجه در

نتایج جدول ۳ نشان داد که اختلاف معنی دار آماری در مشخصه ارتفاع بوته یونجه در اثر دو نوع کشت خالص و آمیخته و سه چین برداشت در هر سه سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ وجود دارد. وزن خشک بوته تحت تأثیر تیمارهای چین و اثر متقابل نوع کشت × چین اختلاف معنی دار آماری را نشان نداد. ارتفاع بوته در چین‌های مختلف در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در سطح احتمال پنج درصد و در سال ۱۴۰۲ در سطح احتمال یک درصد اختلاف نشان داد. ارتفاع بوته در سال ۱۴۰۱ در سطح

سال ۱۴۰۱ در کشت تلفیقی در چین دوم بیشتر از چین خالص چین دوم بیشترین ارتفاع را نشان داد و مقدار اول و سوم بود و مقدار آن در کشت خالص نسبت به کشت تلفیقی بیشتر است. در سال ۱۴۰۲ در کشت (شکل ۲).

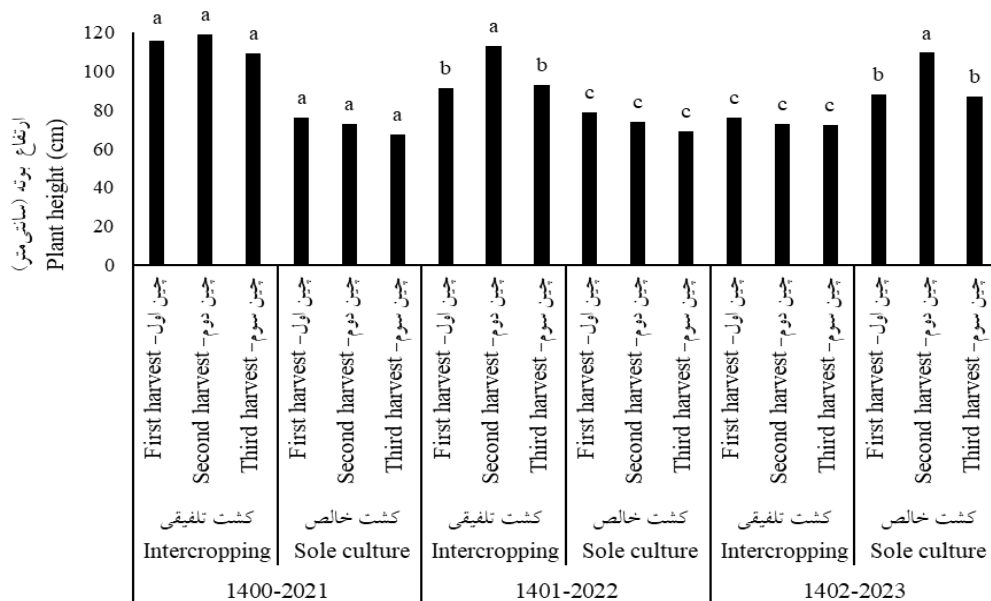
جدول ۳- تجزیه واریانس متغیرهای رویشی یونجه در کشت تلفیقی و خالص در طی سه سال برداشت

Table 3. ANOVA analysis of growth parameters of alfalfa in cultivation of sole and intercropping during three years of research.

منابع تغییرات Sources of Variation	متغیرهای رویشی Vegetative parameters	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	F	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	F	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	F
نوع کشت Type of cultivation	ارتفاع بوته Plant height	1	4060.45	54.31**	1	5756.51	61.46**	1	16338.81	290.38**
	وزن خشک Dry weight	1	1006901.87	1.43 ^{ns}	1	4481738.4	5.98*	1	52809458.56	81.61**
چین Harvest	ارتفاع بوته Plant height	2	446.41	5.97**	2	485.11	5.18*	2	232.46	4.13*
	وزن خشک Dry weight	2	103126.63	0.147 ^{ns}	2	23461.81	0.03 ^{ns}	2	199925.23	0.309 ^{ns}
نوع کشت × چین Type of cultivation × Harvest	ارتفاع بوته Plant height	2	553.99	7.41**	2	532.64	5.69*	2	33.57	0.597 ^{ns}
	وزن خشک Dry weight	2	208945.7	0.3 ^{ns}	2	875306.75	1.17 ^{ns}	2	407462	0.63 ^{ns}

** : معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد، * : معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد و ns : عدم معنی داری.

** : Significant at the 99% confidence level, * : Significant at the 95% confidence level, and ns: Not significant.

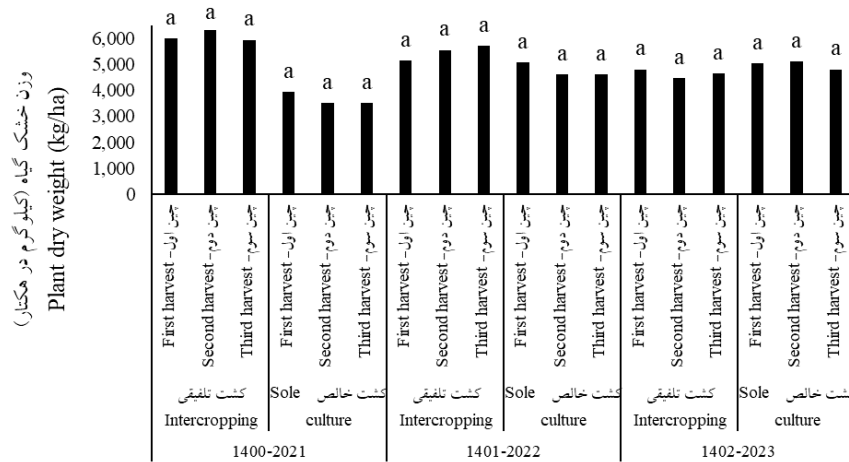


شکل ۲- ارتفاع بوته یونجه در کشت تلفیقی و خالص در طی سه سال برداشت

Figure 2. Alfalfa plant height in intercropping and sole cultivation during three years of harvesting

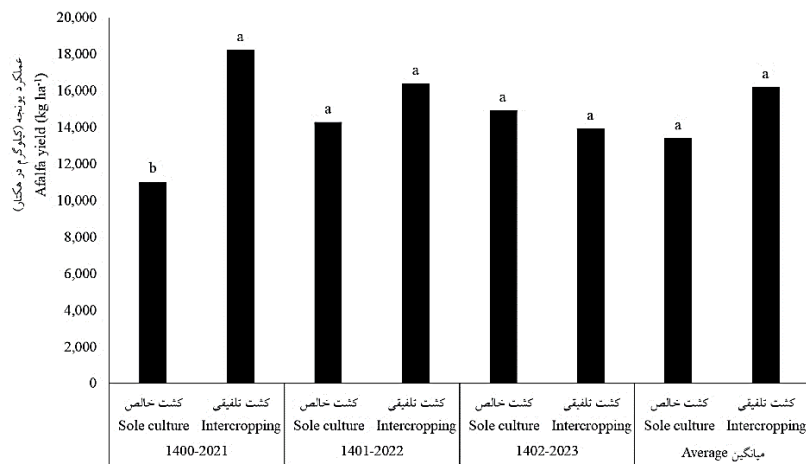
بررسی عملکرد یونجه در هکتار نیز نشان داد که عملکرد در کشت تلفیقی در سال اول بیشتر است و در سال‌های بعدی، تفاوت معنی‌داری در نوع کشت خالص و تلفیقی وجود ندارد (شکل ۴).

نتایج وزن خشک یونجه با آزمون چنددامنه‌ای دانکن نشان داد میانگین‌هایی با حروف مشابه مربوط به هر سال فاقد اختلاف معنی‌دار در بین میانگین‌ها هستند. بررسی وزن خشک یونجه نشان داد در هر سه سال مورد بررسی اثر نوع کشت تلفیقی و خالص در هر سه چین برداشت معنی‌دار نبود (شکل ۳).



شکل ۳- وزن خشک یونجه بر اساس کیلوگرم در هکتار در کشت تلفیقی و خالص در طی سه سال برداشت

Figure 3. Dry weight of alfalfa based on kg ha⁻¹ in intercropping and sole cultivation during three years



شکل ۴- عملکرد یونجه در کشت تلفیقی و خالص در طی سه سال برداشت

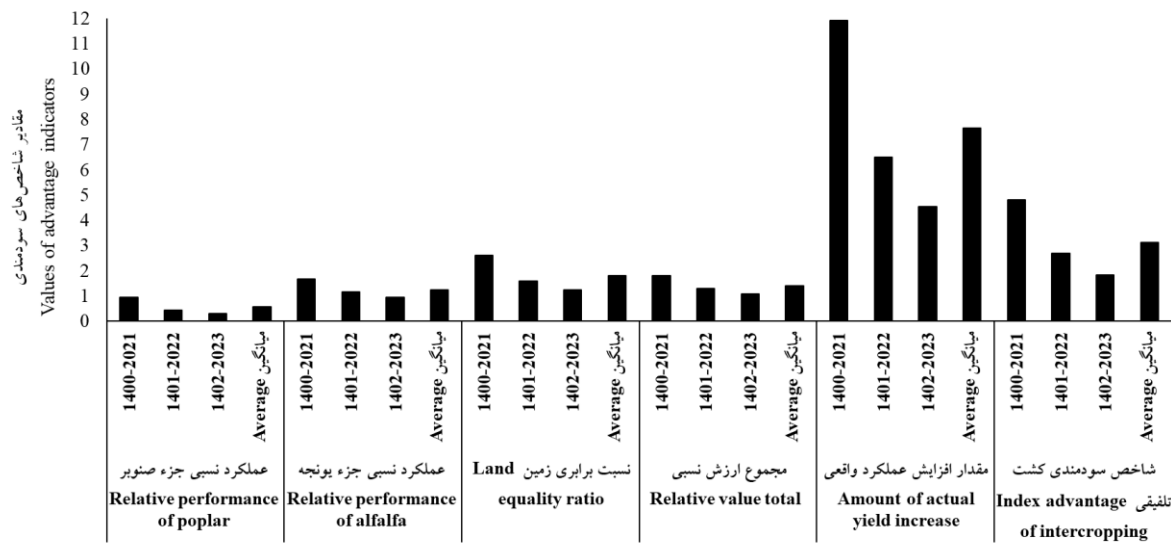
Figure 4. Alfalfa yield in intercropping and sole cultivation during three harvest years

صنوبر با یونجه در طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۴۰۲ مشاهده شد که به ترتیب بیشترین مقدار این عملکرد با ۰/۹۴ و ۱/۶۶ مربوط به سال ۱۴۰۰ به دست آمد و کمترین آن

ارزیابی کارایی و سودمندی کشت خالص و تلفیقی با محاسبه عملکرد نسبی جزء صنوبر (PX) و میزان عملکرد نسبی جزء یونجه (PY) در کشت تلفیقی با

۲/۶۱ مربوط به سال ۱۴۰۰ و کمترین آن با ۱/۲۲ در سال ۱۴۰۲ به دست آمد (شکل ۵). در همه سال‌های مورد بررسی نسبت برابری زمین بیشتر از یک است که نشان‌دهنده کارایی کشت تلفیقی این دو گیاه نسبت به تک‌کشتی است. این نسبت بین ۱/۲۲ تا ۲/۶۱ و به طور کلی میانگین سه ساله آن ۱/۸۱ است.

مربوط به سال ۱۴۰۲ بود. می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که یونجه در کشت تلفیقی با صنوبر در سال‌های اول و دوم بیشترین سود و در سال سوم سود کمتری برده است. برای ارزیابی کشت تلفیقی از نسبت برابری زمین استفاده شد. شاخص نسبت برابری زمین در مقدار کاهش یا افزایش عملکرد واقعی و سودمندی کشت تلفیقی استفاده می‌شود. بیشترین مقدار این نسبت با



شکل ۵- مقایسه کارایی و سودمندی کشت تلفیقی و خالص صنوبر با یونجه در طی سه سال

Figure 5. Comparison of efficiency and advantages of intercropping and sole cultivation of poplar with alfalfa during three years

دارد. بنابراین در این پژوهش در هر سه سال کشت تلفیقی بر تک‌کشتی از لحاظ اقتصادی ارجحیت دارد. افزایش عملکرد واقعی در سال اول (۱۱/۹۲) و در سال سوم (۴/۵۴) به دست آمده است که بیشترین مقدار عملکرد و ارزش مربوط به سال اول بوده است. مقادیر شاخص سودمندی کشت تلفیقی (IA) به ترتیب ۴/۸۰، ۲/۶۷ و ۱/۸۳ در سال‌های ۱۴۰۰، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به دست آمد.

مقدار هزینه حاصل از یک هکتار کشت تلفیقی

مقدار مجموع ارزش نسبی (RVT) با ۱/۲۷، ۱/۸۰، ۱/۲۷ و ۱/۰۷ به ترتیب در سال‌های ۱۴۰۰، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به دست آمده است (شکل ۵). این نشان می‌دهد کشاورزان در کشت تلفیقی صنوبر و یونجه به ترتیب ۱/۸۰، ۱/۲۷ و ۱/۰۷ درآمد حاصل از تک‌کشتی صنوبر و یونجه را برای سال‌های ۱۴۰۰، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به دست خواهند آورد. مجموع ارزش نسبی نشان می‌دهد در کشت‌هایی که RVT بزرگتر از یک باشد کشت تلفیقی بر تک‌کشتی و در کشت‌هایی که مقدار RVT کمتر از یک شده باشد، سیستم تک‌کشتی بر کشت تلفیقی برتری

کشت تلفیقی و خالص یکسان است، بنابراین در محاسبات اقتصادی لحاظ نشده‌اند. نیازهای کارگری بر اساس هشت ساعت کار مفید در روز و برای کارگر ماهر زراعی تعیین شده است. برای حسن انجام کار، کارشناسان و پژوهشگران این پژوهش در تمامی مراحل اجرایی کار حضور و نظارت داشتند.

هزینه‌ها در یک زراعت چوب علمی شامل کلیه مراحل آماده‌سازی زمین اعم از شخم، دیسک، چاله‌کشی، ماله‌کشی، خرید و حمل نهال، کاشت نهال، احداث سیستم آبیاری، وجین علف‌های هرز، کوددهی و هرس است که در جدول ۴ ارائه شده است. به‌طور متوسط هزینه تولید یک هکتار صنوبرکاری در سال استقرار (۱۳۹۹) به مقدار ۴۲۴ میلیون ریال است که در هر دو

جدول ۴- هزینه تولید یک هکتار صنوبرکاری در سال استقرار (۱۳۹۹) در فاصله کاشت ۲×۴ متر

Table 4. The cost of producing 1 ha of poplar plantation in the year of establishment (2019) at a planting distance of 2 × 4 m

ردیف Row	هزینه‌های ثابت و متغیر Fixed and variable costs	واحد Unit	تعداد Number	قیمت واحد (ریال) Unit price (Rials)	بهای کل (ریال) Total Price (Rials)
1	اجاره زمین با آب Land rent with water	هکتار ha	1	120,000,000	120,000,000
2	خرید کود دامی Purchase of manure	کامیون Truck	4	8,000,000	32,000,000
3	توزیع و پخش کود (بارگیری روی تریلی تراکتوری و انتقال و پخش یکنواخت در عرصه) Distribution and spreading of manure (Loading on a tractor trailer and transferring and spreading uniformly in the field)	روز کار تراکتور Tractor work day	1.5	10,000,000	15,000,000
4	آماده‌سازی عرصه کاشت (یک نوبت شخم عمیق، شخم، دیسک، تسطیح) Preparation of planting field (one turn of deep plowing, plowing, disc, leveling)	روز کار تراکتور Tractor work day	2	10,000,000	20,000,000
5	احداث جوی و پشته و چاله‌کشی با تراکتور Construction of a furrow and digging holes with a tractor	روز کار تراکتور Tractor work day	1.5	10,000,000	15,000,000
6	خرید نهال Buy seedlings	اصله Individuals	1250	60,000	75,000,000
7	آبیاری چهار روز یکبار در ۷/۵ ماه و ۵۵ نوبت (دو قطعه همزمان در روز توسط یک آبیاری) Irrigation once every 4 days in 7.5 months and 55 times (two pieces at the same time per day by one irrigator)	نفر روز - کارگر Day person-labor	55	1,000,000	55,000,000
8	آماده‌سازی مسیرهای آبیاری و پته‌بندی Preparation of irrigation paths and potting	نفر روز - کارگر Day person-labor	12	1,000,000	12,000,000

ادامه جدول ۴.

Continued table 4.

ردیف Row	هزینه‌های ثابت و متغیر Fixed and variable costs	واحد Unit	تعداد Number	قیمت واحد (ریال) Unit price (Rials)	بهای کل (ریال) Total Price (Rials)
9	علف تراش موتوری Motorized lawn mower	نفر روز - کارگر Day person-labor	6	1,500,000	9,000,000
10	وجین کار دستی Manual weeding	نفر روز - کارگر Day person-labor	21	1,000,000	21,000,000
11	وسایل کشاورزی و کارگری مصرفی Consumable agricultural and working tools	-	-	-	50,000,000
	جمع کل Total			162,560,000	424,000,000

صنوبر با کارگر روزی ۴۵۰۰ هزار ریال در جدول ۵ ارائه شده است. هزینه عملیات داشت و برداشت (کارگری، وجین کردن و آبیاری) در کشت صنوبر خالص ۲/۲۵ و در کشت تلفیقی صنوبر+یونجه ۵/۴۹ میلیون تومان برآورد شد (جدول ۵).

هزینه‌های کشت تلفیقی و خالص با گونه صنوبر تبریزی کلن اصلاح شده سالاری (*Populus nigra* 62/154) در شرایط ایستگاه تحقیقات صنوبر ساعتلوی ارومیه با فاصله کاشت ۴×۲ متر در اواخر دوره رویشی سال ۱۴۰۲ بررسی شد. ویژگی‌های رویشی و محاسبه مقدار هزینه انجام شده در کشت خالص و تلفیقی

جدول ۵- ویژگی‌های رویشی و محاسبه هزینه‌های کشت خالص و تلفیقی صنوبر با کارگر روزی ۴۵۰۰ هزار ریال

Table 5. Vegetative characteristics and the costs of intercropping and sole cultivation of poplar with a daily worker payment of 4500000 Rials.

هزینه عملیات داشت و برداشت (کارگری، وجین کردن و آبیاری) (میلیون تومان) The cost of maintenance and harvesting operations (labor, weeding and irrigation) (million Tomans)	وزن چوب در هکتار (تن) = حجم × ۰/۶۵ Wood weight per ha (tons) = volume × 0.65	حجم (مترمکعب در هکتار در سال) volume (m ³ /ha/year)	حجم (مترمکعب در هکتار) volume (m ³ /ha)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) diameter at breast height (cm)	ارتفاع (متر) Height (m)	کشت خالص و تلفیقی صنوبر Intercropping and sole culture of poplar
25.2	0.54	0.83	2.48	3.34	3.87	صنوبر خالص sole culture of poplar
49.5	0.16	0.24	0.73	2.12	2.63	صنوبر+یونجه Intercropping poplar+alfalfa

مجموع هزینه‌های (خرید بذر، عملیات داشت و برداشت) محصول یونجه در سال ۱۴۰۲ در کشت تلفیقی، ۲۴/۳ میلیون تومان در هکتار محاسبه شد که در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- مجموع هزینه‌ها (خرید بذر، عملیات داشت و برداشت) محصول یونجه در سال ۱۴۰۲ در کشت تلفیقی
Table 6. Total costs (seed purchase, maintenance and harvest operation) of alfalfa crop in 2023 in intercropping culture.

مجموع هزینه‌ها (میلیون تومان) Total costs (million Tomans)	عملیات برداشت (میلیون تومان) Cost of harvesting operations (million Tomans)	عملیات داشت (میلیون تومان) Cost of maintenance (million Tomans)	خرید بذر (میلیون تومان) Cost of seed purchase (million Tomans)	مقدار بذر مصرفی (کیلوگرم) Number of seed consumed (kg)	محصول علوفه‌ای یونجه Fodder product of alfalfa
24.3	8.1	16.2	0	0	یونجه ALfalfa

با محاسبه مجموع هزینه‌های داشت و برداشت تولید صنوبر و مجموع هزینه‌های تولید یونجه در هکتار، مجموع کل هزینه‌های محصولی در کشت خالص صنوبر ۲۵/۲ میلیون تومان و در کشت تلفیقی صنوبر و یونجه ۷۳/۸ میلیون تومان به‌دست آمد (جدول ۷).

جدول ۷- مجموع کل هزینه‌های تولید صنوبر و محصول یونجه

Table 7. The sum of the production costs of poplar and alfalfa crops

مجموع کل هزینه‌ها در هکتار (میلیون تومان) Total costs per ha (million Tomans)	مجموع هزینه‌های تولید محصول یونجه در هکتار (میلیون تومان) Total production costs of alfalfa per ha (million Tomans)	عملیات داشت و برداشت تولید صنوبر در هکتار (میلیون تومان) Operation of maintenance and harvesting of poplar per ha (million Tomans)	نوع کشت Type of cultivation	نوع محصول Type of crop
25.2	0	25.2	کشت خالص Sole culture of poplar	صنوبر خالص Poplar
73.8	24.3	49.5	کشت تلفیقی Intercropping	صنوبر+یونجه Poplar + alfalfa

و یونجه مثبت بوده و به ۱۴/۱۶ میلیون تومان در سال رسیده است. نسبت درآمد به هزینه نیز در کشت صنوبر با یونجه بیشتر از یک به‌دست آمده است که سودمندی کشت را در سال سوم رویش نشان می‌دهد در حالی که این نسبت در کشت خالص بسیار پایین است.

مقدار سود خالص حاصل از یک هکتار کشت تلفیقی محاسبات اقتصادی و سود حاصله صنوبر در کشت خالص و تلفیقی در سال ۱۴۰۲ در جدول ۸ ارائه شده است. در کشت خالص صنوبر مقدار سود حاصله منفی است (۱۸/۷۵-) و سود خالص در کشت تلفیقی صنوبر

جدول ۸- سود اقتصادی حاصله در کشت خالص و تلفیقی در سال ۱۴۰۲

Table 8. Economic profit obtained in intercropping and sole culture in 2023

صنوبر+یونجه Poplar+alfalfa	صنوبر خالص Poplar	فاکتورهای مؤثر در هزینه و درآمد Effective factors in cost and income
157.92	537.32	عملکرد صنوبر (کیلوگرم در هکتار) Poplar yield (kg/ha)
120000	120000	قیمت فروش چوب صنوبر (ریال) Price of poplar wood (Rials)
13924.3	-	عملکرد محصول یونجه (کیلوگرم در هکتار) Alfalfa yield (kg/ha)
69926	-	قیمت محصول یونجه (ریال) price (Rials) Alfalfa
1.9	6.45	درآمد ناخالص فقط از فروش چوب صنوبر (میلیون تومان) Gross income from sale of poplar wood (million Tomans)
86.07	0	درآمد ناخالص از طریق فروش محصول تولیدی یونجه (میلیون تومان) Gross income from sale of alfalfa products (million Tomans)
87.96	6.45	درآمد کل ناخالص (میلیون تومان) Gross total income (million Tomans)
73.8	25.2	مجموع کل هزینه‌ها (میلیون تومان) Total costs (million Tomans)
14.16	-18.75	سود خالص در هکتار (میلیون تومان) Net profit per ha (million Tomans)
13.93	-18.44	ارزش خالص فعلی (میلیون تومان) Net Present Value (NPV) (million Tomans)
1.19	0.26	نسبت درآمد ناخالص به هزینه BCR (benefit-cost ratio (BCR)

بحث

مواد مغذی در سیستم‌های بیشه‌زراعی محدود است و کشت تلفیقی بر محیط و میکروارگانیسم‌های خاک تأثیر می‌گذارد، رقابت برای مواد مغذی و آب و تغییرات محیط خاک بر رشد رویشی گیاهان در سیستم‌های بیشه‌زراعی تأثیر می‌گذارد. (Yang et al. (2020 در استان سین کیانگ، چین در کشت تلفیقی صنوبر با یونجه نتیجه گرفتند که تراکم طول ریشه و قطر ریشه درختان صنوبر در کشت تلفیقی بیشتر از کشت خالص درختان بود و یونجه اثر محافظتی روی ریشه صنوبرها به‌ویژه در فصل گرما داشت و همین امر سبب رویش و عملکرد بیشتر درختان شده است که با نتایج این پژوهش مغایرت دارد. این موضوع احتمالاً به دلیل

در اختیار داشتن اطلاعات مناسب و به‌هنگام از سودمندی و هزینه‌های بیشه‌زراعی می‌تواند اطلاعات مفیدی را برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران بخش‌های مختلف منابع طبیعی و کشاورزی فراهم آورد. در این پژوهش تجزیه و تحلیل داده‌های رشد درخت صنوبر و عملکرد محصول زیرکشت یونجه، مبنای مقایسه بهره‌وری و سودآوری این سیستم بیشه‌زراعی انجام شد. بر اساس یافته‌های پژوهش، مشخصه‌های قطر برابرسینه، ارتفاع و موجودی حجمی صنوبر فقط در سال سوم رویش معنی‌دار بود و بیشترین مقدار رشد این متغیرها نیز در کشت خالص صنوبر به‌دست آمد. آب و

از این چین برداشت کرد. یونجه گیاهی روز بلند است و چون در چین اول و دوم با دمای خنک و روزهای نه چندان بلند مواجه است، بنابراین رشد رویشی گیاه طولانی تر می شود و عملاً گیاه در ارتفاع بلندتری برداشت می شود و همین ارتفاع زیادتر بوته دلیل برتری عملکرد کمی علوفه در چین های اول است. عملکرد یونجه با گسترده تر شدن تاج پوشش و در نتیجه کاهش نور دریافتی، کاهش می یابد که به دلیل کاهش دوره فتوسنتزی و تجمع زی توده کمتر است. در چین سوم با افزایش دما، تنفس افزایش و کربوهیدرات ها کاهش می یابد و گیاه وارد فاز زایشی می شود که بر رشد ارتفاعی بوته تأثیر منفی می گذارد (Darapuneni et al., 2024). تعداد چین از عامل هایی است که کمتر به ویژگی های ژنتیکی وابسته است و بیشتر تحت تأثیر عوامل محیطی و به ویژه طول دوره مناسب برای رشد گیاه است با توجه به اینکه همچنان ارزیابی سودمندی در سال سوم مثبت است و گونه صنوبر کاشته شده نیز تاج بسته است، در سال های چهارم و پنجم نیز امکان کشت تلفیقی صنوبر با یونجه وجود دارد. در سال اول کشت تلفیقی یونجه عملکرد بهتری نسبت به خالص داشت زیرا تاج پوشش درختان اجازه کامل ورود نور به زمین را می داد ولیکن در سال سوم گستردگی تاج- پوشش سبب شد که گیاهان یونجه در معرض نیم سایه قرار بگیرند و این گیاهان ارتفاع بگیرند و کاهش وزن و عملکرد و نازکی ساقه را داشته باشند، بنابراین با توجه به اینکه در سال سوم گیاهان یونجه کاهش عملکرد داشتند، در شرایط ارومیه تا سه سال می توان کشت یونجه را به عنوان محصول زیرشکوب درختان نگهداری کنیم.

برای ارزیابی سودمندی کشت تلفیقی از شاخص نسبت برابری زمین استفاده شد. در همه سال های موردبررسی نسبت برابری زمین بیشتر از یک بوده است

تفاوت در بافت و شرایط خاک منطقه موردبررسی باشد. گزارش های بسیاری نشان داده اند که یونجه به عنوان یک محصول تثبیت کننده نیتروژن به افزایش سرعت چرخه مواد مغذی در سیستم های بیشه زراعی و همچنین حفظ خاک و آب، به ویژه در مناطق خشک کمک می کند. با این وجود در افزایش زیست توده درختی، تمامی قسمت های گیاه باید در طی روز در معرض کامل نور خورشید قرار بگیرد. در کشت آگروفارستری یونجه، در تمام طول فصل رویش که آفتاب وجود دارد، تراکم پوشش یونجه مانع از رسیدن کامل نور آفتاب به قسمت پایین تنه درختان صنوبر می شود. اما در کشت خالص به دلیل دریافت نور کامل و فضای بیشتر برای تبادلات جریان هوا، درختان قطر برابر سینه بیشتری گرفتند و از آنجایی که قطر دو برابر در افزایش حجم مؤثر است، افزایش قطر سبب افزایش حجم بیشتر درختان در کشت خالص شد. همچنین در سال های اولیه هنوز ریشه درختان صنوبر چندان عمیق نشده است و احتمالاً رقابت ریشه ای بین درختان صنوبر و یونجه وجود داشته است که سبب کاهش حجم و عملکرد صنوبر در تلفیق با یونجه شده است. اگرچه بررسی شاخص رقابتی نسبت برابری زمین نشان داد که کشت تلفیقی سودمند بوده است و رقابتی بین دو محصول وجود نداشته است. به طور میانگین در بررسی حاضر عملکرد یونجه در کشت تلفیقی بیشتر از خالص بوده است. پس از چین اول، سرعت رشد مجدد قسمت های بالای زمین در یونجه تحت تأثیر کشت تلفیقی قرار می گیرد. رشد مجدد یونجه ارتباط مستقیمی با نور، آب و مواد مغذی دریافتی دارد و در کشت تلفیقی به دلیل میکروکلیمای به وجود آمده و شرایط رطوبتی مناسب، رشد بوته ها افزایش یافته است. عملکرد کمی و کیفی چین اول و دوم نسبت به چین سوم به علت وجود دمای مساعد و شرایط بوم-شناسی مناسب برتری دارد و می توان علوفه مناسبی

(RVT) نشان داد که کشاورزان در کشت تلفیقی صنوبر و یونجه به ترتیب ۱/۸۰، ۱/۲۷ و ۱/۰۷ برابر درآمد حاصل از تک کشتی صنوبر و یونجه را برای سال‌های اول و دوم و سوم برداشت به دست می‌آورند. به طوری که در کشت‌هایی که RVT بزرگتر از یک باشد کشت تلفیقی بر تک کشتی و در کشت‌هایی که مقدار RVT کمتر از یک شده باشد، سیستم تک کشتی بر کشت تلفیقی برتری دارد. بنابراین در این پژوهش در هر سه سال کشت تلفیقی بر تک کشتی از لحاظ اقتصادی ارجحیت دارد اگرچه این مقدار در سال اول برداشت نسبت به سال‌های بعدی برداشت بیشتر بود. استفاده از سیستم‌های کاشت تلفیقی سبب افزایش پایداری اجتماعی و اقتصادی جوامع بهره‌بردار می‌گردد. پژوهشگران زیادی بر این موضوع تأکید کردند که به کارگیری سیستم‌های بیشه‌زراعی و کاشت تلفیقی نسبت به زراعت تک محصولی درآمدزایی بیشتری داشته که این امر سبب کاهش مهاجرت روستائیان به شهر می‌شود (Mohebi Bijarpas et al., 2015).

میانگین افزایش عملکرد واقعی در سال اول به ارزش ۷/۶۶ حاصل شد که نشان‌دهنده افزایش عملکرد در کشت بیشه‌زراعی نسبت به تک کشتی است. بنابراین ارزش عملکرد واقعی صنوبر و یونجه به عنوان اجزای بیشه‌زراعی مثبت است که به افزایش مجموع عملکرد واقعی این سیستم در هر سه سال مورد بررسی منجر شده است و بیان‌کننده سودمندی و بهره‌وری کشت بیشه-زراعی برای تولید صنوبر و یونجه است. میانگین مقادیر شاخص سودمندی کشت بیشه‌زراعی (۳/۱۱) بر اساس قیمت واحد هر محصول به دست آمده است که نشان‌دهنده سودمندی کشت بیشه‌زراعی در هر سه سال مورد بررسی است و از نظر اقتصادی تا سه سال می‌توان در بین ردیف‌های صنوبر، گیاه یونجه برداشت کرد و

که نشان‌دهنده کارایی کشت تلفیقی صنوبر+یونجه نسبت به تک کشتی آنها است. این نسبت بین ۱/۲۲ تا ۲/۶۱ به ترتیب برای سال‌های سوم تا اول کشت به دست آمده است و میانگین آن ۱/۸۱ است. به عبارت دیگر، مقادیر LER از ۰/۲۲ تا ۱/۶۱ نشان می‌دهد که سیستم‌های بیشه‌زراعی در مقایسه با کشت‌های تک محصولی ۲۲ تا ۱۶۱ درصد بهره‌ورتر بودند. از طرف دیگر، اگر محصولات زراعی در زمین‌های جداگانه به صورت تک محصولی کشت شوند، به ۱۶۱ درصد از زمین اضافی برای تولید بازدهی در سیستم‌های بیشه-زراعی نیاز است. در نتایج (Dai و Yang et al. (2020) و این نسبت ۱/۴۱ و ۱/۴۲ در کشت تلفیقی صنوبر با یونجه و (Chauhan et al. (2013) این نسبت در محدوده 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. گزارش‌های مشابه نیز نشان داده‌اند که سیستم‌های بیشه‌زراعی بهره‌وری، پایداری و نرخ بهره‌برداری از زمین بیشتری نسبت به سیستم‌های انفرادی کشت دارند. در پژوهش Chavan et al. (2022)، LER تناوب زراعی سورگوم-گندم در چهار جهت ردیف صنوبر بیشتر از یک بود و از ۱/۳۷ تا ۲/۶۷ برای صنوبر با تناوب زراعی سورگوم-گندم متغیر بود که سودمندی کشت تلفیقی را نشان می‌دهد. یک بررسی میدانی مشابه در آلمان در مورد کشت مخلوط گندم و جو با تراکم‌های مختلف صنوبر نشان داد که تولید بالاتر با LER در مقایسه با کشت‌های منفرد از ۱/۱ تا ۱/۶ متغیر است (Seserman, 2018). از این-رو، حداکثر LER برای سیستم زراعی مبتنی بر صنوبر گزارش شد که نشان‌دهنده یک رابطه متقابل هم‌افزایی مثبت بین درختان و محصولات زیرکشت است.

نتایج این پژوهش در مقدار مجموع ارزش نسبی

نتیجه‌گیری کلی

امنیت معیشتی کشاورز یکی از مهم‌ترین جنبه‌های توسعه کلی یک کشور است. کاهش اراضی نشان می‌دهد که تعداد کشاورزان کوچک و حاشیه‌ای در حال افزایش است که به شدت بر توانایی مقابله، آسیب‌پذیری و امنیت غذایی آنها تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، کاهش عملکرد به دلیل سایه تحت سیستم‌های مبتنی بر درخت مانعی برای پذیرش این سیستم در بین کشاورزان است. با این حال، پذیرش بالاتر به سودآوری اقتصادی موجود بستگی دارد. بنابراین، در پژوهش حاضر درآمد صنوبرکاری را با محصول یونجه در طی سه سال برداشت بررسی می‌کند و سودآوری اقتصادی را نشان می‌دهد. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل اقتصادی این سیستم نشان می‌دهد که اتخاذ یک سیستم مبتنی بر درخت به کشاورزان کمک می‌کند تا درآمد کل را افزایش دهند. پیشنهاد می‌شود با افزایش نگهداشت درختان صنوبر تا سن برداشت برای بررسی بازدهی اقتصادی، از شاخص اقتصادی *Equal Annual Equivalent (EAE)* استفاده شود که در واقع ارزش معادل سالانه محصولات دوره‌ای را محاسبه می‌کند و می‌توان با ارزش اقتصادی سالانه محصولات زراعی مقایسه کرد.

اثرات ریزاقليمی درختان صنوبر در کشت تلفیقی مانند کاهش سرعت باد و بهبود شرایط محیطی باعث حفظ رطوبت بیشتر خاک و کاهش نرخ تبخیر-تعرق می‌شود که منجر به عملکرد بیشتر نسبت به شرایط کنترل یا باز می‌شود. رقابت برای نور بر عملکرد محصولات کشاورزی تحت سیستم بیشه زراعی با گسترش تاج‌پوشش افزایش می‌یابد. با این حال در سیستم‌های بیشه‌زراعی، کاهش عملکرد سالانه محصولات زیرکشت زراعی به شکل زیست توده چوبی جبران می‌شود. نتیجه‌گیری کلی این پژوهش مبین این موضوع

به دلیل سودمندی و مثبت بودن می‌تواند تا چندین سال دیگر ادامه یابد. مهم‌ترین هدف در آزمایش‌های مزرعه‌ای، دستیابی به بیشینه عملکرد است و مقدار عملکرد محصول در یک منطقه تحت تأثیر عوامل مختلف ژنتیکی و محیطی و اثر متقابل این عوامل است. استفاده از گونه‌های گیاهی با فنولوژی و ویژگی‌های مورفولوژیکی متفاوت که کمترین رقابت را در یک آشیان بوم‌شناسی ثابت از نظر دریافت عوامل محیطی در مکان و زمان با یکدیگر ایجاد کنند، گام مهمی در موفقیت کشت‌های تلفیقی محسوب می‌شود. این نوع کشت‌ها به دلیل ایجاد پایداری و ثبات تولید، می‌توانند در افزایش درآمد اقتصادی و بهره‌وری استفاده از زمین‌های کشاورزی به‌طور چشمگیری مؤثر باشند. در این پژوهش، مقدار سود حاصله در کشت خالص صنوبر منفی و سود خالص در کشت تلفیقی صنوبر و یونجه مثبت بود. نسبت درآمد به هزینه نیز در کشت صنوبر با یونجه با کاشت در جهت شرقی-غربی بیشتر از یک به دست آمده است که سودمندی کشت را در سال سوم رویش نشان می‌دهد در حالی که این نسبت در کشت خالص بسیار پایین است. *Zheng et al.* (2016) دریافتند که کاشت یونجه باغی (*Coronilla varia L.*) در زیر درختان سیب درآمد اقتصادی در واحد سطح یک باغ سیب را $15/7$ درصد تا $36/22$ درصد افزایش داد. نسبت سود به هزینه بالاتر برای سیستم کشت صنوبر با محصولات زراعی سورگوم-گندم در جهت جنوبی ($1/68$) و جهت شمالی ($1/65$) جهت غربی ($1/30$) گزارش شد (*Chavan et al.*, 2022) که بیشتر از کشت خالص هر یک از گونه‌های مورد بررسی است. همچنین با توجه به نتایج فعالیت‌های (*Hajjarian and Hosseinzadeh, 2016*) آموزشی و ترویجی بر عملکرد زارعین صنوبر بسیار تأثیرگذار است.

پایداری اقتصادی جوامع محلی و به تبع آن کاهش فشار بر منابع جنگلی طبیعی خواهد بود.

تشکر و قدردانی

پژوهش پیش‌رو با استفاده از اعتبارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و همکاری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی انجام شده است، بدینوسیله از مسئولین محترم سپاسگزاری می‌شود.

References

Ahmadloo, F.; Ghasemi, R.; Calagari, M.; Salehi, A., Study of the phenological, vegetative and morphological characteristics of eight *Populus nigra* L. clones in the Albourz Research Station, Karaj, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2020**, 28(1), 30-43. (In Persian)

Akbari, M.; Abbasi, F.; Nasserli, A.; Gomrokchi, A.Y.; Goodarzi, M.; Eslami, A.; Farzamniya, M.; Alimohammadi, R.; Koochi, N.; Bahramloo, R.; Ghadami, A.; Haghaeghimoghaddam, A.G.; Zolfagharian, A.; Ahmadaali, J.; Abbasi, M.; Riyahi, H.; Nakhjavanimoghaddam, M.M., Determination of alfalfa water productivity in different regions of Iran. *Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sci.)* **2023**, 37(2), 119-137. (In Persian)

Asadi, F.; Calagari, M.; Ghasemi, R.; Bagheri, R., Final results of intercropping of poplar and alfalfa in Karaj. *Iranian Journal of Forest* **2012**, 4(1), 33-44.

Asadi, F.; Khodakarimi, A., Hedgerow intercropping of *Populus alba* and alfalfa in West Azarbayjan Province, Iran. *Iranian Journal of Forest* **2016**, 8(1), 51-65. (In Persian)

Bagheri, R.; Ghasemi, R.; Calagari, M.; Merrikh, F., Effect of different irrigation intervals on superior poplar clones yield. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2012**, 20(3), 357-369. (In Persian)

Chauhan, S.K.; Dhillon, W.S.; Singh, N.; Sharma, R.; Physiological behavior and yield evaluation of agronomic crops under agrihorti-silviculture system. *International Journal of Plant Research* **2013**, 3(1), 1-8.

است که با وجود سنتی بودن سیستم‌های بیشه‌زراعی منطقه، این سیستم‌ها سوددهی و بازده اقتصادی بالاتری نسبت به کشاورزی تک‌محصولی دارند، بنابراین اگر این سیستم‌ها به شیوه درستی مدیریت شوند، تأثیر مثبتی در اقتصاد روستایی خواهند داشت. مهم‌ترین قوت و فرصت به‌کارگیری سیستم بیشه‌زراعی جنگل-زراعی به ترتیب در نظر گرفتن معیشت محلی و امکان برپایی نظام مدیریتی مشارکتی است، بنابراین به-کارگیری سیستم بیشه‌زراعی جنگل-زراعی سبب

Chavan, S.B.; Dhillon, R.S.; Sirohi, C.; Keerthika, A.; Kumari, S.; Bharadwaj, K.K.; Jinger, D.; Kakade, V.; Chichaghare, A.R.; Zin El-Abidin, T.K.; Mahmoud, E.A.; Casini, R.; Sharma, H.; Elansary, H.O.; Yessoufou, K., Enhancing farm income through boundary plantation of Poplar (*Populus deltoides*): an economic analysis. *Sustainability* **2022**, 14(14), 8663.

Chen, S.L.; Polle, A., Salinity tolerance of *Populus*. *Plant Biology* **2010**, 12(2), 317-333.

D'Adamo, I.; Gastaldi, M.; Morone, P.; Rosa, P.; Sassanelli, C.; Settembre-Blundo, D.; Shen, Y., Bioeconomy of sustainability: drivers, opportunities and policy implication. *Sustainability* **2022**, 14, 200.

Dai, Y.S.; Yang, T.; Shen, L.; Wang, X.Y.; Zhang, W.L.; Liu, T.T.; Lu, W.H.; Li, L.H.; Zhang, W., Root growth, distribution, and physiological characteristics of alfalfa in a poplar/alfalfa silvopastoral system compared to sole-cropping in northwest Xinjiang, China. *Agroforestry Systems* **2021**, 95(2), 1137-1153.

Darapuneni, M.K.; Lauriault, L.M.; Martinez, G.K.; Djaman, K.; Lombard, K.A.; Dodla, S.K., Potassium and sulfur fertilizer sources influence alfalfa yield and nutritive value and residual soil characteristics in an arid, moderately low-potassium soil. *Agronomy* **2024**, 14(1), 1-10.

Deswal, A.K.; Pawar, N.; Raman, R.S.; Yadav, J.N.; Yadav, V.P.S., Poplar (*Populus deltoides*) based agroforestry system: a case study of southern Haryana. *Annals of Biology* **2014**, 30(4), 699-701.

Englund, O.; Börjesson, P.; Mola-Yudego, B.; Berndes, G.; Dimitriou, I.; Cederberg, C.; Scarla, N., Strategic deployment of riparian

- buffers and windbreaks in Europe can co-deliver biomass and environmental benefits. *Communications Earth & Environment* **2021**, 2, 176.
- Faal-Khah, I.; Ramezani Kakroudi, E.; Alijanpour, A. and Banj Shafiei, A., The effect of spacing on quantitative and qualitative characteristics of black poplar (*Populus nigra* L.). *Forest Research and Development* 2017, 2(4), 337-351. (In Persian).
- Ghaemian, N.; Eftekhari, K.; Norouzi Azar, M.; Habibi, R., Detailed soil geological studies of Saatlou agricultural and natural resources research station in Urmia. Final Research Report, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran, **2015**. (In Persian)
- Goodarzi, Gh.R.; Ahmadloo, F.; Choghaei, M., Investigation on adaptability and production performance of productive black poplar (*Populus nigra* L.) clones in the Markazi province, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2021**, 29(4), 363-376. (In Persian)
- Hajjarian, M. and Hosseinzadeh, O., The role of educational and promotional activities on the performance of poplar farmers in Urmia, *Forest Research and Development* **2016**, 1(3), 241-255. (In Persian).
- Herder, M.; Moreno, G.; Mosquera-Losada, R.M.; Palma, J.H.N.; Sidiropoulou, A.; Freijanes, J.; Crous-Duran, J.; Paulo, J.A.; Tomé, M.; Pantera, A.; Papanastasis, V.P.; Mantzanas, K.; Pachana, P.; Papadopoulos, A.; Plieninger, T.; Burgess, P.J., Current extent and stratification of agroforestry in the European Union. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **2017**, 241(1), 121-132.
- Krzyżaniak, M.; Stolarski, M. J.; Warmiński, K., Life cycle assessment of poplar production: Environmental impact of different soil enrichment methods. *Journal of Cleaner Production* **2019**, 206, 785-796.
- Łukaszewicz, J.; Długoński, A.; Fortuna-Antoszkiewicz, B.; Fialová, J., The ecological potential of poplars (*Populus* L.) for city tree planting and management: A preliminary study of Central Poland (Warsaw) and Silesia (Chorzów). *Land* **2024**, 13(5), pp. 1-23.
- Makhdoum, M., First application of automated land evaluation in Iran. *Environmental Management* **1993**, 17, 409-419. (In Persian)
- Mirakhorlou, Kh., Survey and distribution and areas of *Populus* sp. plantations in the country using Sentinel-2 satellite data. Final Research Report, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran, **2020**. (In Persian).
- Modirrahmati, A., Development of wood farming. *Journal of Iran Nature* **2016**, 1(1), 14-21. (In Persian).
- Modirrahmati, A.; Ghassemi, R.; Calagari, M.; Hemati, A., The study of adaptability and growth of different Poplar and *Palownia* clones in mountainous region north of Iran (Sangdeh Mazandaran). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* **2015**, 28(2), 390-400. (In Persian)
- Mohebi Bijarpass, M.; Rostami Shahraji, T.; Mohammadi Limaiei, S., Socioeconomic evaluation of agroforestry systems (Case study: Northern Iran). *Journal of Forest Science* **2015**, 61(11), 478-484. (In Persian).
- Nair, P.K.R., An introduction to agroforestry. University of Florida Press **1993**, Florida.
- Parija, B.; Kaur, N.; Kaur, T.; Gill, R.I.S., Optimization of planting geometry and weed control improves the productivity of potato under poplar-based agroforestry system. *Agroforestry Systems* **2023**, 97, 1055-1069.
- Reyes, F.; Gosme, M.; Wolz, K.J.; Lecomte, I.; Dupraz, C., Alley cropping mitigates the impacts of climate change on a wheat crop in a Mediterranean environment: a biophysical model-based assessment. *Agriculture* **2021**, 11(4), 356.
- Rivest, D.A.; Cogliastro, R.I.; Bradley, B.; Olivier, A., Intercropping hybrid poplar with soybean increases soil microbial biomass, mineral N supply and tree growth. *Agroforestry Systems* **2010**, 80(1), 33-40.
- Semerci, A.; Guevara, C.A.; Gonzalez-Benecke, C.A., Water availability effects on growth and phenology of 11 poplar cultivars growing in semiarid areas in Turkey. *New Forests* **2021**, 52(3), 411-430.
- Seserman, D.M., 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**.
- Shamekhi, T., Agroforestry. University of Tehran Press, Tehran, **2006**. (In Persian)
- Sharma, N.; Bohra, Pragya, N.; Ciannella, R.; Dobbie, P.; Lehmann, S., Bioenergy from agroforestry can lead to improved food security, climate change, soil quality, and

- rural development. *Food and Energy Security* **2016**, 5(3),165–183.
- Vandermeer, J.H. Intercropping. In Carroll, C.R.; Vandermeer, J.H.; Rosset, P.M. (Eds.). *Agroecology*. McGraw– Hill Inc publishing Co. **1990**, New York. 481-516.
- Yang, T.; Zhu, Y.; Duan, Z.P.; Lu, W.H.; Zhang, F.F.; Wan, S.M.; Xu, W.X.; Zhang, W.; Li, L.H., Root distribution and productivity in a poplar tree + alfalfa silvopastoral system in northwest China's Xinjiang Province. *Agroforestry Systems* **2020**, 94(3), 997–1010.
- Zheng, W.; Li, Y.; Gong, Q.; Zhang, H.; Zhao, Z.; Zheng, Z.; Zhai, B.; Wang, Z., 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* **2016**, 14(4), e1207.