ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های سودمندی کشت تلفیقی صنوبر اورامریکن با سیر در شرایط کرج

فاطمه احمدلو[1*] و سعیده اسکندری[1]

۱- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
* ایمیل نویسنده مسئول: fatemeh_ahmadloo@yahoo.com
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۳- تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۳۱)

چکیده

کشت تلفیقی درختان سریع‌الرشد با محصولات زراعی باعث بهبود پایداری سیستم‌های کشاورزی، افزایش بهره‌وری از زمین و افزایش درآمد کشاورزان می‌شود و اکوسیستم‌ها را نیز حفظ و احیا می‌کند. گیاه دارویی سیر (*Allium sativum*) ما بین ردیف‌های صنوبر اورامریکن (*Populus euramericana* 92/40) کاشته شده در اسفند ماه ۱۳۹۵ به فاصله ۴×۳ متر، در اواخر پاییز ۱۳۹۶ مورد کاشت قرار گرفت. طرح آماری این تحقیق بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تیمار شامل (سیر با صنوبر، تک‌کشتی صنوبر و تک‌کشتی سیر) بود که سودمندی آنها بر اساس ارزش اقتصادی و ریالی مورد مقایسه قرار گرفت. کشت سیر در پنج ردیف به طول ۲۱ متر و با فواصل ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف در سه بلوک در آبان ۱۳۹۶ انجام شد. در طی هر فصل رویش، نهال‌های صنوبر و بوته‌های سیر هر هفته یکبار آبیاری شدند. ارتفاع و قطر برابر سینه درختان صنوبر در پایان هر فصل رویش به‌مدت چهار سال اندازه‌گیری و سپس رویش ارتفاعی، قطری و موجودی حجمی در هکتار و در سال آن محاسبه و با استفاده از آزمون‌تی (T) مورد ارزیابی قرار گرفت. مشخصه‌های ارتفاع بوته، سوخ و سیرچه اندازه‌گیری و عملکرد بیولوژیکی آن به‌دست آمد. ارزیابی اقتصادی از هر یک از کشت‌های خالص و تلفیقی بر اساس شاخص‌های نسبت برابری زمین (LER)، شاخص مجموع ارزش نسبی (RVT) و شاخص سودمندی کشت تلفیقی (IA) انجام شد. در سال‌های ۹۷ و ۹۸ به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار آماری در مشخصه‌های رویش قطری و ارتفاعی در کشت تلفیقی و خالص صنوبر وجود داشت که بیشترین مقدار آن در کشت تلفیقی صنوبر بود. در سال ۹۹، به‌ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک سیر در کشت خالص با مقدار ۸۷۹۱/۶۷ و در کشت تلفیقی با مقدار ۲۴۰۸/۳۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در همه سال‌های مورد مطالعه LER بیشتر از یک و بین ۱/۶۱ تا ۲/۷۶ و به طور کلی میانگین سه ساله آن ۲/۲۸ به دست آمده است. مقدار RVT با ۱/۱۲، ۱/۲۶ و ۰/۲۷ و مقادیر IA به‌ترتیب ۸/۳۹، ۹/۷۶ و ۵/۲۸ در سال‌های ۹۷، ۹۸ و ۹۹ به‌دست آمده است. بنابراین کشاورزان در کشت تلفیقی صنوبر و سیر به‌ترتیب ۱/۱۲، ۱/۲۶ و ۰/۲۷ درآمد حاصل از تک‌کشتی صنوبر و سیر را برای سال‌های ۹۷، ۹۸ و ۹۹ به‌دست می‌آورند. در کشت تلفیقی صنوبر با سیر در شرایط محیطی نیمه خشک کرج، استفاده از منابع موجود و شاخص سودمندی در مقایسه با سیستم‌های تک کشت به حداکثر رسیده است.

واژه‌های کلیدی: رویش قطری، شاخص مجموع ارزش نسبی، عملکرد تولید، نسبت برابری زمین، نوع کشت

مقدمه

برای تأمین مواد اولیه صنایع چوبی به واسطه طرح استراحت جنگل و عدم بهره‌برداری از جنگل‌های طبیعی، مشکلات مربوط به واردات چوب و افزایش نوسات قیمت در بازار، زراعت چوب با گونه‌های سریع‌الرشد بهترین گزینه است. نیاز سالانه صنایع چوب و کاغذ کشور به چوب به‌عنوان ماده اولیه حدود ۱۳ میلیون مترمکعب برآورد شده است (Modir Rahmati *et al*., 2018) که برای تأمین این نیازهای مصرفی باید تدابیری اساسی اندیشید. در این راستا کلن‌های صنوبر اصلاح شده با میزان راندمان تولید چوب بالا در واحد سطح می‌توانند میزان تولید مواد سلولزی را افزایش دهند ولیکن نبود توجیه اقتصادی مناسب به‌ویژه در سال‌های اولیه زراعت چوب، ضرورت توجه به کشت‌های تلفیقی در سیستم آگروفارستری را روشن می‌سازد. خطرپذیر بودن تک‌کشتی از لحاظ اقتصادی و اکولوژیکی، گرایش به سمت افزایش تنوع محصول را گسترش داده است. اگروفارستری به عنوان یک استراتژی کاربری پایدار زمین، استفاده از فضای اکولوژیکی و منابع بیولوژیکی را بهینه می‌کند و در سطح جهانی مورد پذیرش قرار گرفته است. درختان در این سیستم، خواص فیزیکی و شیمیایی و مواد آلی خاک را با فراهم کردن بستر روی زمین بهبود می‌بخشند (Dollinger & Jose, 2018; Wang *et al*., 2022).

در سال ۲۰۲۱، مساحت زیر کشت آگروفارستری در سراسر جهان ۱/۶ میلیارد هکتار تخمین زده شد (Nair *et al*., 2021). مفهوم آگروفارستری بر این فرض استوار است که از نظر ساختاری و عملکردی سیستم‌های کاربری پیچیده، منابع را به‌طور کارآمدتری نسبت به کشت‌های تکی جذب می‌کنند (Schroth & Sinclair, 2002). اگروفارستری استفاده از منابع را با بهبود مکمل زمانی و یا مکانی در جذب منابع افزایش می‌دهد (Ong *et al*., 2007). درختان تنوع زیرزمینی را افزایش می‌دهند و این مورد از ثبات و انعطاف‌پذیری اکوسیستم محلی پشتیبانی می‌کند (Barrios *et al*., 2012). اگروفارستری فواید بیشماری را از تنوع تولید گرفته تا بهره‌برداری بهتر از منابع طبیعی و ارائه عملکردهای زیست محیطی مانند بهبود یا حفظ حاصلخیزی خاک، حفظ آب و استفاده مولدتر از آب شامل می‌شود (Cooper *et al*., 1996). "جریان هیدرولیکی" یک پدیده حرکتی آب در سیستم‌های اگروفارستری است که به موجب آن سیستم ریشه درخت، آب را از لایه‌های عمیق خاک مرطوب به لایه‌های بالایی خاک می‌برد، جایی که برای محصولات کشاورزی قابل دسترسی است (Bayala *et al*., 2008). بر مبنای بررسی‌های (Sanchez, 1995)، آگروفارستری بر چهار عامل رقابت، پیچیدگی، پایداری و سودآوری متمرکز است. فعل و انفعالات مثبت سیستم آگروفارستری شامل بهبود حاصلخیزی خاک از طریق افزودن بستر درختان، مدیریت علف‌های هرز طبیعی و آفات از طریق آللوشیمیایی درختان یا از طریق سیگنال‌دهی شیمیایی و ایجاد میکروکلیما از طریق تغییر دما برای کاهش تنش گرمایی و تبخیر و تعرق، بهبود راندمان آب – محصول و تعادل انرژی است (Jose *et al*., 2004).

از سوی دیگر، دیربازده بودن صنوبرکاری نسبت به محصولات زراعی و علوفه‌ای و نیاز کشاورزان به

درآمد سالیانه از محصولات زراعی، دلیل مضاعفی بر عدم توسعه صنوبرکاری توسط کشاورزان است. تمام سودهای کشاورزی مشمول مالیات هستند و سودآوری خالص کشاورزی را کاهش می‌دهند و در مقابل، سود حاصل از تولید چوب مشمول مالیات نمی‌شود و سرمایه‌ای برای کسب درآمد در آینده است. بنابراین اعمال روش‌هایی که بتوانند در سال‌های اولیه درآمد مناسبی برای کشاورزان داشته باشند و توأم با آن به کشت درخت به‌عنوان یک مؤلفه اصلی بپردازد، بسیار ضرورت دارد (Ahmadloo *et al*., 2022). در این راستا گیاه خوراکی و دارویی سیر به دلیل سازگاری بالا با شرایط مختلف آب و هوایی کشور و دارا بودن انعطاف‌پذیری زیستی، می‌تواند گزینه مناسبی به‌عنوان محصول در کشت‌های آگروفارستری باشد. تولید جهانی سیر حدود ۲۸/۵ میلیون تن از سطح زیر کشت ۱۵٤٦۷٤۱ هکتار است. چین، هند، بنگلادش، کره جنوبی، مصر و اسپانیا بزرگترین تولیدکنندگان سیر در جهان هستند و ایران با ٤۷۳٤ هکتار سطح زیر کشت و ۵۸۲۷۸ تن تولید در رتبه بیست و هفتم جهان قرار دارد (Akbarpour *et al*., 2021). لازمه رسیدن به توسعه در بخش کشاورزی، استفاده از ظرفیت‌های موجود است که شیوه کشاورزی به‌صورت تلفیقی می‌تواند اقتصادی‌ترین و در عین حال سودمندترین نحوه استفاده از پتانسیل‌های موجود در منطقه باشد. بهره‌وری سیستم‌های کشت تلفیقی به مجموع تولید هر دو محصول درختی و زراعی بستگی دارد که استفاده کارآمدتر از منابع و کاهش هزینه تولید و افزایش عملکرد را سبب می‌شود (Chandra, 2011). در جنوب کانادا، گونه‌های دیگری مانند بلوط قرمز (*Quercus rubra* L.)، پیسهآ (*Picea abies* L. Karrst.)، زبان گنجشک (*Fraxinus americana* L.)، سرو (*Chamaecyparis thyoides* L.)، افرای قرمز (*Acer rubrum* L.) و صنوبر کانادایی (*Populus canadensis* Moench.) با دانه‌های سویا، ذرت و جو کشت شده‌اند (Williams & Gordon, 1992). کاشت صنوبر به‌صورت ردیفی در تلفیق با سبزیجات در استرالیا نیز گزارش شده است (Garrett & McGraw, 2000). در ولز، (Thomas, 1990) گزارش کرد که محدوده بازده اقتصادی نسبی صنوبر در تلفیق با محصولات غلات- علوفه‌ای (*Populus interamericana* L.) در مقایسه با تک‌کشتی این محصولات به میزان ۵۲ تا ٦۵ درصد بود.

در این راستا تحقیقاتی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. (Asadi *et al*., 2012) در کرج نهال‌های کلن صنوبر *Populus nigra* betulifolia را در فواصل کاشت ۳×٤، ۳×٦/٦٦، ۳×۸ و ۳×۱۰ متر با یونجه به همراه دو تیمار شاهد صنوبر خالص (۳×٤ مترمربع) و یونجه خالص کاشتند. محققین مناسب‌ترین تیمار برای اجرای کشت تلفیقی دالانی در شرایط محل اجرای طرح را تیمار آمیخته با فاصله کاشت ۳×٦/٦٦ مترمربع صنوبر و یونجه معرفی کردند. همچنین از نظر تولید ماده خشک یونجه در هر هکتار، بیشترین مقادیر در تیمارهای یونجه خالص در فواصل کاشت ۳×۱۰ و ۳×۸ مترمربع به‌ترتیب با ۷۵۰۷، ٤۷۸۸ و ٤۲٦۵ کیلوگرم حاصل شد. در تحقیقی دیگر، کشت تلفیقی صنوبر دلتوئیدس و بادام زمینی در فواصل ۳×٤، ٦×٤ و ۹×٤ مترمربع در ایستگاه تحقیقات زراعی فخرآباد لشت نشاء از طریق افزایش ازت

خاک و ذخیره بیشتر کربن خاک، رشد ارتفاعی و قطری درختان ۳ ساله را افزایش داده است (Sadeghi *et al*., 2015). افزایش درآمد دو تا سه برابری محصول صنوبر *P. deltoides* Bartr. Ex Marsh در ترکیب با *Curcuma longa* L. (زردچوبه) و *Vigna radiata* L. (ماش) نسبت به کشت خالص نیز توسط (Chauhan *et al*., 2013) گزارش شد. همچنین محققین میزان درآمد در هکتار برنج در ترکیب با گندم را ۱۸۹۷ دلار، زردچوبه در ترکیب با محصولات باغی و صنوبر را ٤٨١٤ دلار و ماش در ترکیب با سیر/پیاز، محصولات باغی و صنوبر را ۵۷۲۵ دلار گزارش کردند. (Chavan & Dhillon, 2019) نهال‌های صنوبر (*P. deltoides G-3*) را در سه فاصله کاشت (٤×۵ مترمربع)، (۲×۱۰ مترمربع) و (۲×۱۸ مترمربع) در ردیف‌های دوتایی با تراکم ثابت ۵۰۰ درخت در هکتار را در زمین دانشگاه کشاورزی چوداری چاران سین هاریانا، هیسار، هند کشت کردند. دو چرخه برداشت محصول (سورگوم-شبدر برسیم و لوبیای چشم بلبلی-گندم) به‌عنوان محصول زیرکشت و تلفیقی در هر سه فاصله کاشت با صنوبر و کشت خالص صنوبر در هر یک از فواصل کشت به‌عنوان شاهد در طی ۸ سال بررسی نمودند. نتایج محققین نشان داد که در فاصله کشت ۲×۱۰ مترمربع صنوبر با محصول سورگوم-شبدر برسیم، بیشترین بازده خالص، ارزش فعلی خالص، نسبت سود به هزینه، نرخ بازده داخلی، نرخ نسبت برابری زمین و برآورد ارزش انتظار زمین به‌دست آمد. بنابراین با توجه به وجود باغات وسیع صنوبر در استان‌های شمالی کشور از یک سو و نیاز مبرم به تأمین گیاه دارویی و صنعتی سیر در کشور و بهره‌وری بهینه از زمین‌های کشاورزی از سوی دیگر، استفاده از اراضی زیر کشت باغات صنوبر در قالب نظام جنگل زراعی از اهمیت خاصی برخوردار است.

با توجه به اهمیت تولید چوب به‌عنوان محصول راهبردی کشور و تولید گیاه دارویی سیر به‌منظور سودآوری کشاورزی در مقیاس کوچک و رویکرد جهانی در تولید گیاهان به سمت استفاده از نظام‌های کشاورزی پایدار، تحقیق حاضر با هدف مقایسه برآورد میزان رویش و موجودی حجمی صنوبر در کشت خالص و تلفیقی با سیر، مقایسه میزان رشد، عملکرد و اجزای عملکرد سیر در کشت خالص و تلفیقی با صنوبر، ارزیابی شاخص سودمندی صنوبر در کشت خالص و تلفیقی با سیر، افزایش تولید توأم چوب و سیر برای دست‌یابی به درآمد بیشتر در واحد سطح روستائیان، ترغیب زارعان به کشت تلفیقی با کسب نتایج علمی - عملی مبتنی بر مزیت اقتصادی و افزایش بهره‌وری از منابع انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

تحقیق حاضر در ایستگاه تحقیقاتی البرز در جنوب شهر کرج و در حدود ۷ کیلومتری از مرکز شهر با موقعیت جغرافیایی ۳۵ درجه و ٤٦ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۳۰۰ متر از سطح دریا انجام شد. بر اساس آمار هواشناسی، میانگین بارندگی سالانه ۲۵۰ میلی‌متر، حداقل مطلق درجه حرارت ۲۱/۷- درجه سانتی‌گراد، حداکثر مطلق درجه حرارت ٤١ درجه سانتی‌گراد، میانگین درجه حرارت ۱۳/۷ درجه

سانتی‌گراد، ضریب خشکی ۹/۵ (طبق فرمول دو مارتن) و جزو طبقه آب و هوائی نیمه خشک است. خاک ایستگاه از رسوبات آبرفتی شنی رسی با عمق متوسط ۷۰ سانتی‌متر تشکیل شده و به‌طور کلی خاک سبکی است و pH آن برابر ۸ می‌باشد و فاقد شوری و گچ و آهک است. در فاصله ماه‌های اردیبهشت تا مهر دوره خشک در منطقه حاکم بوده و اواسط مهرماه با افزایش بارش دوره تر در منطقه آغاز می‌شود (Calagari *et al.*, 2018).

تحقیق حاضر در زمینی به مساحت تقریبی ۱۲۵۰ مترمربع به مدت پنج سال انجام شد. در این تحقیق گیاه دارویی سیر (*Allium sativum*) ما بین ردیف‌های صنوبر اورامریکن (*Populus euramericana 92/40*) کاشته شده در اسفند ماه ۱۳۹۵ به فاصله ٤×۳ متر (فاصله بین ردیف‌ها ٤ متر و داخل ردیف‌ها ۳ متر)، در اواخر پاییز ۱۳۹٦ مورد کاشت قرار گرفت. عملیات آماده‌سازی کاشت در زمین شامل شخم، دیسک، تسطیح و احداث فارو (خطوط نهر کاشت) در اواسط پاییز ۱۳۹٦ انجام شد. طرح آماری این تحقیق بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تیمار سیر با صنوبر، تک‌کشتی صنوبر و تک‌کشتی سیر) می‌باشد که سودمندی آنها بر اساس ارزش اقتصادی و ریالی مورد مقایسه قرار گرفت. از تعداد ٤۲ اصله صنوبر در هر یک از کشت‌های تلفیقی و خالص استفاده شد و مساحت ۲۵۰ مترمربع نیز برای گونه خالص سیر مورد کاشت قرار گرفت. ابتدا اقدام به درآوردن فارو یا جویچه در پنج ردیف به طول ۲۱ متر و با فواصل ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف در سه بلوک شد. در آبان ۱۳۹٦، سیرچه‌ها با فاصله ۱۰ سانتی‌متر روی ردیف در عمق ۵ سانتی‌متری خاک کشت شدند و بلافاصله آبیاری مزرعه انجام گرفت. سیر مورد استفاده از همدان تهیه شد. در طی هر فصل رویش، نهال‌های صنوبر هر هفته یکبار تا اواخر آبان‌ماه و گیاه سیر تا اوایل تیرماه آبیاری شدند. با توجه به اینکه هیچ آفت و بیماری خاصی در مزرعه مشاهده نشد عملیات مبارزه با آفات و بیماری‌ها انجام نشد. عملیات داشت مانند وجین علف‌های هرز به دفعات مورد نیاز و به‌صورت دستی و مکانیزه در ردیف‌های درختان انجام گرفت. قطر درختان صنوبر در محل ارتفاع برابرسینه با نوار قطرسنج تا دقت میلی‌متر و ارتفاع با شاخص تا دقت سانتی‌متر در پایان هر فصل رویش به‌مدت چهار سال اندازه‌گیری و سپس رویش ارتفاعی و قطری تعیین و موجودی در هکتار درختان با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

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

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 (Goodarzi *et al.*, 2021). زنده‌مانی تمامی درختان نیز در پایان تحقیق به میزان ۱۰۰ درصد بود که در تجزیه و تحلیل‌ها آورده نشد.

صفات رویشی مورد بررسی برای هر دو گونه صنوبر و سیر با استفاده از آزمون‌تی (T) در دو سیستم کشت تلفیقی و خالص در نرم‌افزار آماری (SPSS نسخه ۲۲) مورد ارزیابی قرار گرفت. در گیاه سیر در انتهای فصل رشد، برداشت غده همزمان با مشاهده علائم رسیدگی سیر (تغییر رنگ برگ‌های سیر به قهوه‌ای) انجام شد. به‌منظور بررسی عملکرد، سوخ‌های موجود در ٦ پلات یک

مترمربعی در هر بلوک برداشت و مشخصه‌های ارتفاع بوته، تعداد سوخ، وزن خشک سوخ، تعداد سیرچه در سوخ، و عملکرد تولید در هکتار اندازه‌گیری شد. ارتفاع بوته سیر با خط‌کش با دقت میلی‌متر و برای تعیین وزن خشک پس از حذف ۰/۵ متر از طرفین هر بلوک، گیاهان در ٦ پلات یک متر مربعی در هر بلوک کف‌بر و خشک کردن آنها به‌مدت ٤٨ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد (Emam *et al*., 2013) و توسط ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. شاخص برداشت نیز بر اساس عملکرد سوخ به عملکرد بیولوژیک و بر حسب درصد محاسبه شد.

در پایان ارزیابی اقتصادی از هر یک از کشت‌های خالص و تلفیقی نیز بر اساس شاخص‌های زیر انجام شد.

شاخص نسبت برابری زمین (LER): یک شاخص ساده از کارایی و ارزیابی سودمندی نسبی کشت تلفیقی به‌عنوان نسبت سطح زمینی که لازم است تا با کشت گیاه به‌صورت تک‌کشتی، عملکردی مشابه کشت تلفیقی به‌دست آید (Vandermeer, 1990) و نشان‌دهنده درجه رقابت یا همیاری در کشت تلفیقی است. به منظور ارزیابی کشت تلفیقی نسبت به کشت خالص، از شاخص نسبت برابری زمین (LER) طبق معادله ۲ استفاده شد.

معادله (۲)

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

در این معادله، PX: عملکرد گونه صنوبر در کشت تلفیقی، KX: عملکرد گونه صنوبر در کشت خالص (عملکرد نسبی جزء صنوبر)، PY: عملکرد گونه عملکرد گونه سیر در کشت تلفیقی و KY: عملکرد گونه سیر در کشت خالص (عملکرد نسبی جزء محصول زراعی) می‌باشد. برای تعیین این شاخص، عملکرد نسبی هر جزء محاسبه شد که مجموع آنها میزان LER را مشخص می‌کند.

شاخص مجموع ارزش نسبی (RVT): شاخص مجموع ارزش نسبی به‌عنوان شاخص سودمندی اقتصادی طبق معادله ۳ محاسبه شد:

معادله (۳)

$$RVT = \frac{aP_1 + bP_2}{aM_1}$$

در این معادله، RVT: شاخص مجموع ارزش نسبی، P_1: عملکرد محصول صنوبر در کشت تلفیقی، a: قیمت محصول صنوبر و P_2: عملکرد محصول زیرکشت سیر در کشت تلفیقی، b: قیمت محصول سیر و M_1: عملکرد صنوبر در کشت خالص می‌باشد.

قیمت هر کیلوگرم محصولات بر حسب ریال در هر یک از سال‌های مورد مطالعه بر اساس نرخ روز خرید در شهرستان کرج در جدول ۱ ارائه شده است.

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

قیمت هر کیلوگرم محصولات	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۹
صنوبر	۳۸۰۰	٦۰۰۰	۱۰۰۰۰
سیر	۵۲۷۹۰	۱۳۵٦۳۰	۲۵۷۲۱۰

کاهش یا افزایش عملکرد واقعی (AYL): این شاخص طبق معادله ٤ و AYL_a و AYL_b طبق معادله‌های ٥ و ٦ محاسبه شد (Lithourgidis *et al.*, 2011).

معادله (٤) $AYL= AYL_a + AYL_b$

معادله (٥)

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

معادله (٦)

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

در این معادله، AYL_a: کاهش یا افزایش عملکرد واقعی گونه صنوبر، Z_{ab}: درصد گونه صنوبر در کشت تلفیقی، AYL_b: کاهش یا افزایش عملکرد واقعی گونه سیر، Z_{ba}: درصد گونه سیر در کشت تلفیقی و LER: شاخص نسبت برابری زمین می‌باشد.

شاخص سودمندی کشت تلفیقی (IA): شاخص سودمندی اقتصادی کشت تلفیقی طبق معادله ۷ محاسبه شد (Lithourgidis *et al.*, 2011). معادله (۷):

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

در این معادله، P_a: قیمت محصول صنوبر، P_b: قیمت محصول سیر، AYL_b: کاهش یا افزایش عملکرد واقعی گونه سیر و AYL_a: کاهش یا افزایش عملکرد واقعی گونه صنوبر می‌باشد.

ارزش تولید کل: ارزش تولید کل در هر یک از کشت‌ها طبق معادله ۸ محاسبه شد (Banaeian *et al.*, 2011). معادله (۸):

قیمت کالا × عملکرد کل = ارزش تولید کل

نتایج و بحث

عملکرد صنوبر

تجزیه واریانس رویش ارتفاعی و قطری درختان صنوبر تحت تیمار نوع کشت را در هر یک از سال‌های ۹۷، ۹۸ و ۹۹ در جدول ۲ ارائه شده است. اثر نوع کشت اختلاف معنی‌دار آماری را در رویش قطری در سال ۹۷ و در رویش ارتفاعی در سال ۹۸ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار آن در کشت تلفیقی صنوبر می‌باشد. در سال‌های ۹۷، ۹۸ و ۹۹، مشخصه‌های قطر برابر سینه، ارتفاع و موجودی حجمی در کشت تلفیقی و خالص صنوبر اختلاف معنی‌دار آماری را نشان نمی‌دهند. اغلب نیتروژن تثبیت شده توسط گیاه زیرکشت می‌تواند مورد استفاده درختان صنوبر قرار گرفته و در نتیجه منجر به بهبود اجزا عملکرد و در نهایت، افزایش محصول آن گردد. اگر اجزای تشکیل‌دهنده کشت تلفیقی در نحوه استفاده از منابع محیطی متفاوت عمل کنند از این منابع به‌طور مؤثرتری استفاده خواهد شد و در نتیجه در چنین حالتی عملکرد افزایش می‌یابد (Willey, 1990). درختان به‌طور کلی ریشه‌های خود را بسیار پایین‌تر از منطقه محصول دارند، از آب لایه‌های پایینی خاک استفاده می‌کنند و بنابراین بر محصول تأثیر نمی‌گذارند. ریشه‌های درختان همچون شبکه‌های ایمنی عمل می‌کنند و مواد مغذی را که به دلیل شسته‌شدن از بین می‌روند را جذب می‌کنند (van Noordwijk & Hairiah, 2000) و از این طریق عملکرد آنها افزایش می‌یابد. اگرچه در تحقیق حاضر مشخصه‌های رویشی قطر برابر سینه، ارتفاع و موجودی حجمی درختان اختلاف معنی‌دار آماری

را در کشت خالص و تلفیقی نشان ندادند ولیکن این موضوع نیاز به تحقیق بیشتر در سال‌های آینده دارد. مزایای بیشتر آگروفارستری می‌تواند ناشی از تغییرات در میکرو اقلیم ایجاد شده توسط درختان باشد که کارایی مصرف آب محصولات را افزایش می‌دهد (Nguyen, 2008). این گونه صنوبر دارای میزان رویش ۲۵۳ روز در سال بر اساس میانگین دوره نه ساله و سیر دارای میزان رویش تا اواخر خرداد در شرایط ایستگاه البرز کرج می‌باشند که نشان‌دهنده میزان بیشتر مصرف آب در درختان صنوبر می‌باشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس رویش ارتفاعی و قطری و حجم درختان صنوبر در کشت خالص و تلفیقی در طی سه سال

سال	منابع تغییرات	آماره t	درجه آزادی	میانگین کشت تلفیقی با سیر	کشت خالص صنوبر
۱۳۹۷	رویش قطری	۳/۱۱۲**	۳۹	۳/۱٤(۰/۲۲)a	۲/٤۳(۰/۰۹)b
	رویش ارتفاعی	-۱/۰۷ns	۳۹	۱/۷۲(۰/۱۱)	۱/۸۸(۰/۱۳)
۱۳۹۸	رویش قطری	-۰/۲۰۲ns	۳۹	۳/۱٤(۰/۱۳)	۳/۱۷(۰/۱۳)
	رویش ارتفاعی	۲/۹٤**	۳۹	۰/۹۸(۰/۱)a	۰/۵۹(۰/۰۹)b
۱۳۹۹	رویش قطری	-۰/۷۸۱ns	۳۹	۲/۱۵(۰/۱۲)	۲/۲٦(۰/۱٦)
	رویش ارتفاعی	۰/۹۲۷ns	۳۹	۱/۲(۰/۰۸)	۱/۰۸(۰/۱۲)
۱۳۹۷	قطر برابر سینه	۱/٦۹۳ns	۳۹	۵/۱۵(۰/۲۸)	٤/۵۹(۰/۱۲)
	ارتفاع	-۰/۹٦۷ns	۳۹	٤/۸۲(۰/۱۷)	۵(۰/۱۳)
	موجودی حجمی	۱/۷۷٦ns	۳۹	٤/٦۹(۰/۵۹)	۳/٤۹(۰/۲)
۱۳۹۸	قطر برابر سینه	۱/۲۸٤ns	۳۹	۸/۲۹(۰/۳۲)	۷/۷۷(۰/۲۱)
	ارتفاع	۱/۳۷٦ns	۳۹	۵/۸(۰/۱۲)	۵/٦(۰/۰۸)
	موجودی حجمی	-۱/٦۳٤ns	۳۹	۱۳/۸(۱/۳۱)	۱۱/۲٤(۰/٦۵)
۱۳۹۹	قطر برابر سینه	۰/۹٤۷ns	۳۹	۱۰/٤٤(۰/۲۹)	۱۰/۰۳(۰/۳)
	ارتفاع	۱/۷۹٦ns	۳۹	۷/۰۵(۰/۱۱)	٦/٦۷(۰/۱۳)
	موجودی حجمی	۱/۱٦ns	۳۹	۲۵/۷٤(۱/۷٦)	۲۲/۷۸(۱/۷۷)

** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک درصد است؛ ns نشان‌دهنده عدم سطح معنی‌داری است.

میانگین‌هایی با حروف متفاوت در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار نسبت به یکدیگر بر اساس آزمون‌تی (T) هستند.

عملکرد و اجزای عملکرد سیر

اختلاف معنی‌دار آماری در اثر نوع کشت در تجزیه واریانس متغیر رویشی ارتفاع بوته در سال‌های ۹۷ و ۹۸ وجود دارد که بیشترین آن در کشت تلفیقی است. متغیرهای ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیکی، تعداد سوخ، وزن سوخ، تعداد سیرچه در سوخ و شاخص برداشت در سال ۹۹ وجود دارد که بیشترین آن در کشت خالص سیر است (جدول ۳).

در پژوهش (Dahiya *et al.*, 2022)، عملکرد دانه و کاه و عملکرد بیولوژیکی در تک‌کشتی گندم به‌طور معنی‌داری در مقایسه با سایر کشت‌های تلفیقی بیشتر بود و در بین سیستم‌های مختلف کشت تلفیقی، بیشترین عملکرد دانه و کاه در *Populus deltoides* با گندم و کمترین آن در *Dalbergia sissoo* با خردل ثبت شد. همچنین افزایش عملکرد دانه و کاه در تک کشتی جو و خردل در مقایسه با سیستم *Eucalyptus tereticornis*

با جو و سیستم *Dalbergia sissoo* با خردل وجود داشت. نتایج به‌دست‌آمده تحقیق حاضر با یافته‌های (Awan *et al*., 2015) و (Dahiya *et al*., 2022) مطابقت می‌کند. در بررسی (Burgess *et al*., 2005) در حضور درختان، عملکرد در واحد سطح زیر کشت محصولات گندم و جو بهاره، نسبت به عملکرد محصول به صورت تک کشتی، به‌طور متوسط ٤ درصد در سه سال اول کاهش داشته است و دلیل آن را گسترش تاج پوشش درختان و کاهش میزان نور دریافتی محصولات زیرکشت و در نتیجه با ظرفیت رهگیری نسبت بیشتری از تشعشع در درختان مرتبط می‌دانند. کاهش ۲۰ تا ۲۵ درصدی عملکرد در واحد سطح زمین برای ذرت در کشت تلفیقی با صنوبر در مقایسه با عملکرد ثبت شده در کشت خالص ذرت در تحقیق (Thevathasan & Gordon, 2004) پس از چند سال گسترش تاج پوشش گزارش شد. با توجه به اینکه صنوبر اورامریکن دارای تاج پوشش باز و گسترده است می‌توان از صنوبرهای با رقم تاج بسته استفاده کرد تا نور دریافتی محصولات در زیر تاج پوشش آنها بیشتر باشد و بتوان در سال‌های بیشتری کشت محصولات را انجام داد.

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد سیر در کشت تلفیقی و خالص در طی سه سال برداشت با آزمون T-Test

سال برداشت	منابع تغییرات	ارتفاع بوته (cm)	عملکرد بیولوژیکی ($kg\ ha^{-1}$)	تعداد سوخ (تعداد در مترمربع)	وزن سوخ (gr)	تعداد سیرچه در سوخ (عدد)	شاخص برداشت
۱۳۹۷	سطح معنی‌داری Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۳**	۰/۱٤٦^{ns}	۰/۸٦٤^{ns}	۰/۰۵۲^{ns}	۰/۸٦۸^{ns}	۰/٤۳٤^{ns}
	آماره t	۳/۸۳	۱/۷۲۲	۰/۱۷٦	۲/۲۰۱	۰/۱۷	۰/۸۵۱
	درجه آزادی	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
	کشت تلفیقی	۵٤/۵۳ (۰/۷۱)a	۸۸۲۰ (٤٤۷/۵)	۱٤/۵ (۰/۳٤)	٦٦/۹۳ (٤/۱۵)	۸/۱۷ (۰/۷۹)	٦۷/۷۳ (۲/۲)
	کشت خالص	۵۱/۳۷ (۰/٤۳)b	۷۹۱٦/٦۷ (۲۰۹/۲)	۱٤/۳۳ (۰/۸۸)	۵۵/۹۷ (۲/۷۵)	۸ (۰/۵۸)	٦٤/٤۹ (۲/۰۳)
۱۳۹۸	سطح معنی‌داری Sig. (2-tailed)	۰/۰۱٤*	۰/۱۳۳^{ns}	۰/۳۷٤^{ns}	۰/۱۱۸^{ns}	۰/٦۰۵^{ns}	۰/۵۹۲^{ns}
	آماره t	۲/۹۵۳	۱/٦۳٤	۰/۹۳	۱/۷۱۲	۰/۵۳۵	۰/۵۷۲
	درجه آزادی	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
	کشت تلفیقی	۵۲/۸۷ (۰/۷۱)a	۷۸٦٦/٦۷ (٦٦۸/۵٤)	۱٦ (۱/۹)	٤۵/۱۷ (۲/۵۵)	۷/۱۷ (۰/٤۸)	٦۰/۳۹ (٦/۰۱)
	کشت خالص	٤۹/۹۳ (۰/٦۹)b	٦٤۵۰ (۵۵۲/۱۲)	۱۳/۸۳ (۱/۳۵)	٤۰/٦۳ (۰/۷٤)	٦/۸۳ (۰/٤)	۵٤/۸٤ (۵/۱٦)
۱۳۹۹	سطح معنی‌داری Sig. (2-tailed)	۰/۰۲۱*	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۵**	۰/۰۳۱*
	آماره t	-۲/۷۳۸	-۱۵/۱۱۷	-۵/٤۹٤	-۸/۷۷۸	-۳/۵۵۸	-۲/٤۸۳
	درجه آزادی	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
	کشت تلفیقی	٤۸/۲ (۱/۰۳)b	۲٤۰۸/۳۳ (۳٦/۷٤)b	۵/٦۷ (۰/٦۱)b	۲۵/۸۱ (۱/٤٤)b	٤/۱۷ (۰/۷)b	۵۵/۰۱ (٦/۰۸)b
	کشت خالص	۵۱/۱۹ (۰/۳۸)a	۸۷۹۱/٦۷ (۲۰۷/۵۳)a	۱٤/۳۳ (۱/٤۵)a	۵۲/۷۹ (۲/۷۲)a	۷/۵ (۰/٦۲)a	۷٦/٤۹ (۵/٦۹)a

**: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد *: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد ns: عدم معنی‌داری (): اشتباه معیار

میانگین‌هایی با حروف متفاوت در هر ستون به تفکیک هر سال دارای اختلاف معنی‌دار نسبت به یکدیگر بر اساس آزمون‌تی (T) هستند.

در تحقیق حاضر، در سال اول کاشت، نور به طور کامل در اختیار گیاه زیرکشت سیر قرار می‌گرفت ولیکن در سال‌های بعد با افزایش سطح تاج پوشش درختان صنوبر اورامریکن، مقدار نور دریافتی توسط سیر کاهش یافت. میزان ارتفاع بوته سیر در سال سوم در کشت خالص بالاتر از کشت تلفیقی بود. به نظر می‌رسد که عامل مؤثر در این قضیه می‌تواند بحث رقابت گیاهان بر سر نور باشد، واکنش گیاهان مختلف در مقابل شدت نور بسیار متفاوت است. همچنین نور رشد و نمو میانگره‌ها و در نتیجه رشد طولی ساقه را محدود می‌سازد، ولی انشعابات ساقه را زیادتر می‌کند. چون کاهش میزان نور، فعالیت هورمون رشد طولی (اکسین) را کاهش می‌دهد (Mazaheri & Majnoon Hosseini, 2005). (Hasan *et al*., 2005) بیان داشتند که بیشترین ارتفاع گیاه گندم (۸۲/۸۶ سانتی‌متر) در سیستم اگروفارستری با درختان شیشم (*Dalbergia sissoo* L.) و هندوران (*Swietania macrophylla* L.) و کمترین ارتفاع (۷۵ سانتی‌متر) گندم در کشت خالص این گیاه در سال اول مشاهده گردید. (Nazari *et al*., 2017) نیز ارتفاع بوته گندم- بادام (۶۵ سانتی‌متر) و جو - بادام (۶۳ سانتی‌متر) را بالاتر از کشت خالص این گیاهان در سال اول تحقیق گزارش کردند و بیان کردند که در سال‌های بعدی کمبود نور در زراعت غلات، باعث ضعیف شدن ساقه و افزایش ارتفاع و کاهش عملکرد در این گیاهان می‌شود. افزایش ارتفاع گیاه زیرکشت ممکن است به علت تحریک توسعه سلولی و تقسیم سلولی تحت شرایط سایه باشد. مطالعات نشان داده است که در سیستم‌های جنگل زراعی، سایه درختان می‌تواند فتوسنتز و شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاهان زراعی مجاور را تحت تأثیر قرار دهد (Daizy *et al*., 2008). نور عامل مهمی است که بر فتوسنتز و عملکرد گیاهان در سیستم‌های جنگل زراعی اثر می‌گذارد. درختان و گیاهان زراعی نور را به شکل تشعشات فعال فتوسنتزی (PAR) دریافت می‌کنند (طول موج ۷۰۰-۴۰۰ نانومتر). مقدار جذب PAR به نوبه خود تحت تأثیر ساعات روز، دما، سطح CO_2، ترکیب گونه‌ها، ساختار کانوپی، ارتفاع و سن گیاه، زاویه و سطح برگ می‌باشد (Daizy *et al*., 2008).

در کشت سیر میزان عملکرد تا سال سوم نیز وجود داشت اگرچه میزان آن نسبت به کشت خالص آن کاهش داشت. بنابر نتایج تحقیق حاضر بایستی فاصله کاشت درختان صنوبر اورامریکن را بیشتر در نظر گرفت تا گسترش تاج پوشش درختان مانع از تولید سیر نشود. نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ویژگی میزان عملکرد بیولوژیک نشان داد که این مشخصه در واحد سطح تحت تأثیر آگروفارستری قرار گرفت و مقدار آن در سال اول افزایش و در سال سوم کاهش یافت. در سیستم اگروفارستری انبه - زنجبیل (*Zingiber officinale* L.) میزان ماده خشک زنجبیل بیشتری نسبت به کشت خالص زنجبیل حاصل گردید (Amin *et al*., 2010). بررسی‌های دیگر بیان داشتند که بیشترین ماده خشک گندم در سیستم اگروفارستری گندم - صنوبر نسبت به تک‌کشتی

گندم در سال اول حاصل گردید (Hasan *et al.*, 2005).

در سال‌های ۹۷ و ۹۸، بیشترین عملکرد سیر در کشت تلفیقی به‌ترتیب با مقادیر ۸۸۲۰ کیلوگرم در هکتار و ۷۸٦٦/٦۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. بیشترین عملکرد سیر در کشت خالص با مقدار ۸۷۹۱ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در کشت تلفیقی در سال ۱۳۹۹ با مقدار ۲٤۰۸/۳۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). در شرایط بهره‌مندی گیاه از منابع، گیاه با دریافت نور بیشتر، میزان فتوسنتز و رشد بیشتری داشته و عملکرد بیولوژیک آن افزایش می‌یابد. نتایج بررسی (Ahmed, 1991) و (Bhuiya *et al.*, 2003) نشان داده است که سیر برای استقرار، رشد و نمو و به تبع آن تولید عملکردی با کیفیت و کمیت مطلوب، نیاز به محتوی رطوبت کافی در خاک دارد و نسبت به کمبود رطوبت خاک حساس می‌باشد و گیاهی نسبتاً حساس نسبت به کمبود محتوی رطوبتی و درجه حرارت بالای خاک می‌باشد همین امر سبب می‌شود که در کشت تلفیقی با شرایط رطوبتی مناسب و کاهش تبخیر و تعرق، عملکرد بیولوژیک بیشتری داشته باشد. همچنین آزمایش‌های دیگر نشان داده که گیاه زنجبیل در زیر درختان نارگیل (*Cocos nucifera* L.) در سال اول نیز بیشترین عملکرد اقتصادی را نسبت به فضای بدون درخت داشته است که این میزان افزایش عملکرد بین ۱۱ تا ۲۷ درصد بوده است (Jayachandran *et al.*, 1998). عملکرد بالای سیر در سال اول کشت به اشغال آشیانه‌ای اکولوژیک متفاوت توسط دو گونه (یک محدوده و یک محیط مشخص برای توسعه ریشه توسط هر یک از گونه‌ها)، شرایط زیستی مناسب، تراکم مطلوب محصول زراعی و عدم رقابت بین گونه‌ای و همچنین استفاده بهینه از منابع رشد نسبت داده شده است. از مزایای کشت تلفیقی، مواردی مانند تبادل مواد غذایی، افزایش کارایی جذب، مصرف و بهره‌وری نیتروژن، کاهش رقابت علف‌های هرز، ممانعت از فعالیت آفات، کنترل عوامل بیماری‌زا، کاهش تعرق و ایجاد برخی دیگر از مکانیسم‌ها را می‌توان نام برد که هرگز در نظام‌های تک‌کشتی روی نمی‌دهند (Tsubo *et al.*, 2001). البته کاهش میزان عملکرد در سال‌های بعدی به دلیل کاهش میزان نور دریافتی بوده است. از آنجا که میزان ریشه‌دهی و عمق نفوذ ریشه سیر در خاک نسبتاً کم می‌باشد (Hutchinson & Mc Giffen, 2000)، شرایط میکروکلیمای به‌وجود آمده با افزایش میزان جذب عناصر غذایی تحت تأثیر توسعه بیشتر سیستم ریشه‌ای و به تبع آن بیشتر شدن سطح فعال ریشه‌ای و جلوگیری از تبخیر و حفظ رطوبت در خاک، رشد رویشی را موجب شده که افزایش رشد سیرچه (به‌عنوان مخزن ذخیره‌کننده ماده فتوسنتزی) و وزن بوته سیر را به دنبال داشته است که این امر نقش مؤثری بر بهبود عملکرد دارد اگرچه این اختلاف معنی‌دار نشده است و نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد. (Chavan *et al.*, 2022) نتیجه گرفتند که در طول رویش صنوبر دلتوئیدس از سال دوم تا سال هشتم، زیست توده علوفه سبز سورگوم و عملکرد دانه گندم به‌طور قابل توجهی به‌ترتیب از ۷/۰٤ به ۸۳/٦٤ درصد و ۹/۰٤ به ٥٤/٤ درصد در فاصله ۳ متری از ردیف‌های درختان صنوبر در مقایسه با تک کشتی آنها در فضای باز کاهش یافت. محققین دلیل

کاهش عملکرد محصول را رقابت برای آب و مواد مغذی گزارش کرده‌اند که باعث کاهش تابش فعال فتوسنتزی (PAR) و رهگیری بارندگی در مقایسه با شرایط فضای باز می‌شود.

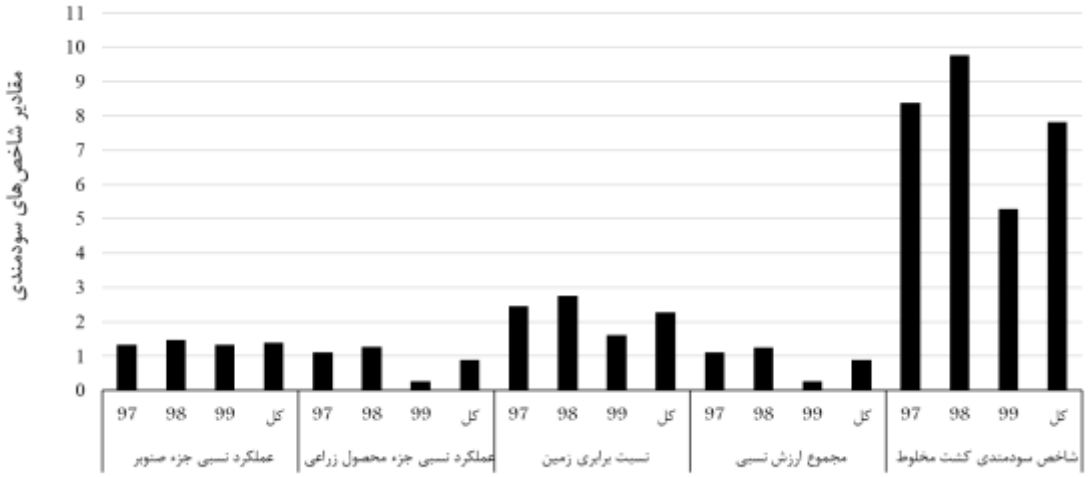
با ایجاد سایه‌افکنی بیشتر تاج پوشش درختان بر گیاه سیر و کاهش نور دریافتی، درصد شاخص برداشت کاهش بیشتری داشته است. در شرایط بهره‌مندی کافی از منابع، توازن مناسبی در انتقال مواد فتوسنتزی بین اندام‌های هوایی و زیرزمینی سیر وجود دارد که موجب افزایش شاخص برداشت سیر می‌شود. شرایط مناسب درختان صنوبر در طرفین بلوک سیر با تعدیل درجه حرارت و جلوگیری از تبخیر و کاهش محتوی رطوبتی خاک موجب بهبود رشد بوته‌ها و فتوسنتز می‌شود که تولید سوخ و سیرچه‌ها و در نتیجه عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت را افزایش می‌دهد.

ارزیابی کارایی و سودمندی کشت خالص و تلفیقی

با محاسبه عملکرد نسبی جزء صنوبر (PX) و میزان عملکرد نسبی جزء محصول زراعی (PY) در کشت تلفیقی با سیر در طی سال‌های ۹۹-۹۷ مشاهده شد که به‌ترتیب بیشترین میزان این عملکرد با ۱/۴۸ و ۱/۲۸ مربوط به سال ۹۸ به‌دست آمد. می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که سیر در کشت تلفیقی بـا 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 میزان کاهش یا افزایش عملکرد واقعی و سودمندی کشت تلفیقی استفاده می‌شود. بیشترین میزان این نسبت با ۲/۷۶ مربوط به سال ۹۸ و کمترین آن با ۱/۶۱ در سال ۹۹ به‌دست آمد (شکل ۱). در همه سال‌های مورد مطالعه نسبت برابری زمین بیشتر از یک است که نشان‌دهنده کارائی کشت تلفیقی این دو گیاه نسبت به تک‌کشتی می‌باشد. این نسبت بین ۱/۶۱ تا ۲/۷۶ و به طور کلی میانگین سه ساله آن ۲/۲۸ است یعنی عملکرد کشت تلفیقی این دو گونه ۶۱ تا ۱۷۶ درصد و میانگین ۱۲۸ درصد بیشتر از کشت خالص است. این موضوع بیانگر این است که برای به‌دست آوردن عملکرد در سیستم تک‌کشتی به ۶۱ تا ۱۷۶ درصد زمین بیشتر مورد نیاز است تا عملکردی مشابه کشت تلفیقی به‌دست آید و نشان‌دهنده اثر مفید کشت تلفیقی در افزایش بهره‌وری از منابع است. اگر مقدار LER بزرگتر از یک باشد کشت تلفیقی سودمندی بیشتری نسبت به کشت خالص در استفاده از زمین داشته است (Yilmaz *et al.*, 2015). اضافه عملکرد به‌دست آمده را می‌توان به استفاده بهتر از منابع موجود توسط دو گیاه و اختلافات مورفولوژیک و فیزیولوژیک بین آنها در سیستم کشت تلفیقی نسبت داد. در تحقیق (Chavan *et al.*, 2022) نیز مقدار LER در سیستم آگروفارستری صنوبر-سورگوم و صنوبر -گندم در مقایسه با کشت خالص هر یک از محصولات، حدود ۸۰ درصد بیشتر گزارش شد. مطالعات انجام شده توسط (Chavan & Dhillon, 2019) نشان می‌دهد که الگوی کشت سورگوم-برسیم منجر به LER بالاتری در محدوده ۱/۷۵ تا ۲/۲۸ در سه تراکم کاشت درختان صنوبر دلتوئیدس می‌شود. 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 (Seserman *et al.*,

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.

مقدار مجموع ارزش نسبی (RVT) با ۱/۱۲، ۱/۲٦ و ۰/۲۷ به‌ترتیب در سال‌های ۹۷، ۹۸ و ۹۹ به‌دست آمده است (شکل ۱). بنابراین کشاورزان در کشت تلفیقی صنوبر و سیر به‌ترتیب ۱/۱۲، ۱/۲٦ و ۰/۲۷ درآمد حاصل از تک‌کشتی صنوبر و سیر را برای سال‌های ۹۷، ۹۸ و ۹۹ به‌دست خواهند آورد. 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 دارد. بنابراین در سال ۹۸ کشت تلفیقی بر تک‌کشتی از لحاظ اقتصادی ارجحیت دارد. مقادیر شاخص سودمندی کشت تلفیقی (IA) به‌ترتیب ۸/۳۹، ۹/۷٦ و ۵/۲۸ در سال‌های ۹۷، ۹۸ و ۹۹ به‌دست آمده است. 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.



شکل ۱- مقایسه کارایی و سودمندی کشت خالص و تلفیقی صنوبر با سیر در طی سه سال رشد

ارزش تولید کل صنوبر در سال‌های اول و سوم در کشت خالص بیشتر و ارزش تولید کل سیر در سال‌های اول و دوم در کشت تلفیقی بیشتر و در مجموع میزان این شاخص در هر دو محصول صنوبر و سیر در کشت خالص بیشتر به‌دست آمد (جدول ٤). اگرچه کشت تلفیقی مجموع کشت صنوبر و سیر از یک سطح به‌دست می‌آید که مقدار ارزش تولید ۲۱۵۲۱٤۲۲۸۲ ریال از یک هکتار زمین

می‌باشد در صورتی که در کشت خالص ارزش تولید مجموع محصولات صنوبر و سیر به مقدار ۳۵۵٤۱۷٤۲٦٤ ریال از دو هکتار زمین به‌دست می‌آید

جدول ٤- ارزش تولید کل بر اساس ریال بر هکتار در کشت تلفیقی و خالص در طی سه سال برداشت

سال برداشت	صنوبر		سیر	
نوع کشت	تلفیقی	خالص	تلفیقی	خالص
۱۳۹۷	۱۵۱۱/۸۹	۱۹۷۸/۹۲	٤٦٥٦۰۷۸۰۰	٤۱۷۹۲۰۸۳۳/۳
۱۳۹۸	۲۱۹۲۸/۸۹	۲۰۹۵٤/۲۹	۱۰٦٦۹۵٦۰۰۰	۸۷٤۸۱۳۵۰۰
۱۳۹۹	۱۰۷٦۲٤/۲۹	۱۱۲٤۱٤/۳	٦۱۹٤٤۷٤۱٦/۷	۲۲٦۱۳۰٤۵۸۳
مجموع	۱۳۱۰٦۵/۰۷	۱۳۵۳٤۷/۵	۲۱۵۲۰۱۱۲۱۷	۳۵۵٤۰۳۸۹۱۷

بر اساس دیدگاه‌های (Kort & Turnock, 1999) تلفیق کشت درختان صنوبر و محصولات علوفه‌ای موجب افزایش تنوع درآمدی کشاورزان می‌شود، طوری که صنوبرها به‌دلیل رشد سریع، تکثیر آسان و بازار مناسب، درآمد کشاورزان را در آینده تضمین خواهند کرد. نتایج ارزیابی مالی نظام بیشه‌زراعی در بنگلادش و مقایسه آن با نظام زراعت برنج با استفاده از سه معیار نسبت سود به هزینه، ارزش خالص فعلی و بازدهی نیروی کار نشان داد که بازده اقتصادی نظام بیشه‌زراعی ۲۵ درصد بیشتر از زراعت خالص است (Rasul & Thapa, 2006).

نتیجه‌گیری

امنیت معیشتی کشاورز یکی از مهمترین جنبه‌های توسعه کلی یک کشور است. انتخاب گونه‌های کشت تلفیقی بسته به شرایط اقلیمی، خاک و عوامل و ویژگی‌های منطقه‌ای متفاوت می‌باشد و هنگامی حداکثر عملکرد به‌دست می‌آید که گیاهان تشکیل‌دهنده از نظر نحوه و میزان استفاده از منابع با یکدیگر کاملاً متفاوت باشند. تجزیه و تحلیل داده‌های رشد درخت و عملکرد محصول زیرکشت، مبنای اولیه‌ای برای مقایسه بهره‌وری و سودآوری این سیستم آزمایشی آگروفارستری با روش‌های معمول کشت زراعی و تولید صنوبر فراهم می‌کند. محاسبه شاخص‌های سودمندی اقتصادی (LER، RVT و IA)، مزیت اقتصادی سیستم کشت تلفیقی نسبت به تک‌کشتی را نشان می‌دهد که البته بستگی به نوع محصول تولیدی نیز دارد. نتایج تحقیق حاضر می‌رساند که کشت تلفیقی محصولات کشاورزی با صنوبر در شرایط محیطی نیمه خشک، استفاده از منابع موجود را در مقایسه با سیستم‌های تک‌کشتی به حداکثر می‌رساند. از آنجایی که رسالت حفظ آب و خاک کشور و تأمین چوب برای مصارف گوناگون و کشت محصولات زراعی به‌منظور تولید گیاهان دارویی و صنعتی در عرصه‌های طبیعی بر عهده سازمان منابع طبیعی کشور می‌باشد، بر این اساس با توجه به پتانسیل تولیدی عرصه‌هایی که شرایط مناسب اقلیمی، توپوگرافی و ادافیکی و قدرت تولیدی بالا در واحد سطح را دارا می‌باشند، می‌توان اجرای طرح‌های تلفیقی درختان تند رشد و زودبازده با زیراشکوب تولید گیاهان دارویی را به‌صورت اصولی برنامه‌ریزی کرد تا بدین‌وسیله

منابع آب و خاک را حفظ و محصولات دارویی و صنعتی را تأمین نمود. با استفاده از تجارب مفید به‌دست آمده از سیستم‌های سنتی آگروفارستری، می‌توان بهره‌وری اقتصادی و تولید را افزایش داد.

دلیل کاهش در کشت تلفیقی در سال‌های بعدی کشت، سایه‌اندازی گیاهان بر یکدیگر و کاهش جذب نور است. استفاده از نظام‌های زراعی مناسب و تعیین الگوی بهینه کاشت محصولات زراعی براساس ویژگی‌های اکولوژیکی هر منطقه، یکی از راهکارهای مؤثر جهت افزایش بهره‌وری مصرف آب است که باید به‌عنوان یک راهکار کاربردی مورد توجه قرار گیرد. در مناطق خشک و نیمه خشک، محصولات زراعی معمولاً کمتر از نیمی از بارندگی سالانه را به‌طور مولد استفاده می‌کنند و باقیمانده آن به‌عنوان رواناب، تبخیر یا با زهکشی از دست می‌رود. استفاده موفقیت‌آمیز از زراعت در سیستم‌های آگروفارستری مستلزم آن است که درختان از آبی استفاده کنند که در غیر این صورت از مزارع کشت شده از طریق تبخیر، رواناب و زهکشی از بین می‌رود. به‌طوری‌که درختان آب را از اعماق پایین خاک و از آب‌های زیرزمینی جذب می‌کنند. طراحی و مدیریت سیستم‌های اگروفارستری مستلزم شناخت دقیق آب و هوا، عمق آب‌های زیرزمینی و حجم آب خاک است. ورود درختان به مزارع زراعی منجر به تغییر در تعادل آب خاک می‌شود. درختان می‌توانند از آب باقیمانده ذخیره شده در نیمرخ خاک و هرگونه بارندگی پس از برداشت محصول استفاده کنند. بنابراین، درختان به‌صورت سالانه می‌توانند مصرف مولد آب را افزایش دهند. اگر درختان ریشه عمیق‌تری نسبت به محصولات کشاورزی داشته باشند و بارندگی فصلی برای ایجاد نفوذ به خارج از منطقه ریشه‌زایی محصول کافی باشد، درختان می‌توانند از آبی استفاده کنند که تحت عنوان زهکشی هدر می‌رود. سایه تاج درختان باعث کاهش تبخیر از خاک می‌شود و در نتیجه ممکن است دسترسی به آب برای محصولات در طول فصل رشد را افزایش دهد. به طور مشابه، هنگامی که درختان در ردیف کاشته شده‌اند، باعث نفوذ آب به خاک می‌شوند و در نتیجه رواناب از مزارع شیب‌دار را کاهش می‌دهند و آب بیشتری را برای رشد محصول در دسترس قرار می‌دهند. به‌تدریج در فصل تابستان رطوبت باقیمانده در لایه‌های زیرین زمین و همچنین از طریق پیشروی رطوبت به طرفین آن مورد استفاده ریشه درختان مستقر در ردیف‌ها قرار می‌گیرد. در زراعت سیر تا تیرماه درختان از رطوبت اطراف استفاده می‌کنند. بنابراین پیشنهاد می‌شود که فاصله مناسب بین محصولات زراعی و ردیف درختان صنوبر به‌منظور افزایش نرخ عبور نور تاج افزایش یابد. گزینه‌هایی مانند تعیین حداقل قیمت حمایتی در طول زمان کاشت یا ضمانت بازپرداخت می‌تواند منجر به توسعه پایدار سیستم‌های آگروفارستری از طریق تشکیل یک مرجع نظارتی که کشت درختان و محصولات زراعی را کنترل می‌کند و متشکل از نمایندگان همه سهامداران از جمله کارخانه‌های کاغذسازی بزرگ است.

قدردانی

اعتبار این پژوهش از محل پژوهه طرح شماره ۲-۰۹-۰۹-۱۰۹-۹۶۰۹۶۷ مصوب ۱۳۹۶/۱۰/۰۹ معاونت محترم پژوهشی و فناوری مؤسسه

تحقیقات جنگلها و مراتع کشور تـأمین شده است
که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

REFRENCES

Ahmadloo, F., Calagari, M., Salehi, A., and 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 Farsi)

Ahmed, H. 1991. Effect of weed on growth of garlic (*Allium sativum* L.). *Weed Science Abstract*, 39(6), 230.

Akbarpour, A., Kavoosi, B., Hosseinifarahi, M., Tahmasebi, S., and Gholipour, S. 2021. Evaluation of yield and phytochemical content of different Iranian garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(4), 385-400.

Amin, M.R., Ikbal, T.M.T., Miah, M.M.U., Hakim, M.A., and Amanullah, A.S.M. 2010. Performance of ginger under agroforestry system. *Journal Bangladesh Research Publications*, 4(3), 208- 217.

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

Awan, A.R., Siddiqui, M.T., Mahmood, K., Khan, R.A., and Maqsood, M. 2015. Interactive effect of integrated nitrogen management on wheat production in *Acacia nilotica* and *Eucalyptus camaldulensis*-based alley cropping systems. *International Journal of Agriculture and Biology*, 17(6), 1270–1274.

Banaeian, N., Omid, M., and Ahmadi, H. 2011. Energy and economic analysis of greenhouse strawberry production in Tehran province of Iran. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1020-1025.

Barrios, E., Sileshi, G.W., Shepherd, K., and Sinclair, F. 2012. Agroforestry and soil health: linking trees, soil biota and ecosystem services. In Wall, D.H., Bardgett, R.D., Behan-Pelletier, V., Herrick, J.E., Jones, H., Ritz, K., Six, J., Strong, D.R., and van der Putten W.H. (Eds.). *Soil Ecology and Ecosystem Services*. Oxford University Press, Oxford, UK, 315–330.

Bayala, J., Heng, L.K., van Noordwijk, M., and Ouedraogo, S.J. 2008. Hydraulic redistribution study in two native tree species of agroforestry parklands of West African dry savanna. *Acta Oecologia*, 34(3), 370–378.

Bhuiya, MAK, Rahim, M.A., and Chowdhury, M.N.A, 2003. Effect of planting time, mulch and irrigation on the growth and yield of garlic. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2(8), 639-643.

Burgess, P.J., Incoll, L.D., Corry, D.T., Beaton, A., and Hart, B.J. 2005. Poplar (*Populus* spp) growth and crop yields in a silvoarable experiment at three lowland sites in England. *Agroforestry Systems*, 63(2), 157–169.

Calagari, M., Ghasemi, R., Asadi, F., and 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 Farsi)

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

Chauhan, S.K., Dhillon, W.S., Singh, N., and 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.

Chavan, S.B., and Dhillon, R.S. 2019. Doubling farmers' income through *Populus deltoides*-based agroforestry systems in northwestern India: an economic analysis. *Current Science,* 117(2), 219-226.

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., and Yessoufou, K. 2022. Enhancing farm income through boundary plantation of poplar (*Populus deltoides*): An economic analysis. Sustainability, 14(4), 8663.

Cooper, P.J.M., Leakey, R.R.B., Rao, M.R., and Reynolds, L. 1996. Agroforestry and the mitigation of land degradation in the humid and sub-humid tropics. *Experimental Agriculture*, 32(3), 235–290.

Dahiya, G., Bhardwaj, K.K., Devi, S., Ahlawat, I., Singh, C., and 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.

Daizy, R., Batish, R., Kumar, K., Shibu, J.H., and Pal, S. 2008. Ecological basis of agroforestry. Taylor and Francis, New York.

Dollinger, J., and Jose, S. 2018. Agroforestry for soil health. *Agroforestry Systems*, 92(2), 213–219.

Emam, Y., Hosseini, A., Rafiee, N., and 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 Farsi)

Garrett, H.E., and McGraw, R.L. 2000. Alley cropping practices. In Garrett, H.E., Rietveld, W.J., and Fisher, R.F., (Eds). North American Agroforestry: An Integrated Science and Practice. American Society of Agronomy, Inc., Madison, WI, USA. 149–188.

Goodarzi, Gh.R., Ahmadloo, F., and Choghaei, M. 2021. 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, 29(4): 363-376. (In Farsi)

Hasan, M.M., Asaduzzaman, S.M., Islam, K.K., and Hossain, M.A. 2005. Effect of organic and inorganic fertilizer on growth and yield of wheat under Agrisilvicurtural system. *Journal of Agricultural Science,* 57(7), 193-205.

Hutchinson, C.M., and McGiffen, M.E., Jr. 2000. Cowpea cover crop mulch for weed control in desert pepper production. *HortScience*, 35(2), 196–198.

Jayachandran, B.K., Ancy, J., Babu, P., Nizam, S.A., and Mridula, K.R. 1998. Under the coconut tree: in India, ginger has it made in the shade. Kerala Agricultural University, Kerala, India. *Agroforestry Today*, 10(3), 16-17.

Jose, S., Gillespie, A.R., and Pallardy, S.G. 2004. Interspecific interactions in temperate agroforestry. In Nair, P.K.R., Rao, M.R., and Buck, L.E. (Eds). New Vistas in Agroforestry: Advances in Agroforestry. Springer, Dordrecht. 237–255.

Kort, J., and Turnock, R. 1999. Carbon reservoir and biomass in Canadian prairie shelterbelts. *Agroforestry Systems*, 44, 175-186.

Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A., and Damalas, C.A. 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*, 34(4), 287-294.

Mazaheri, D., and Majnoon Hosseini, N. 2005. Fundamental of farming. Tehran University Press, Tehran. (In Farsi)

Modir Rahmati, A., Panahi, P., Etemad, V., Aminpour, T., and Aghajani, A. 2018. Wood farming, a reliable and sustainable way to supply the wood of country. *Journal of Iran Nature*, 3(2), 62-76. (In Farsi).

Nair, P.K.R., Kumar, B.M., Nair, V.D. 2021. An introduction to agroforestry: four decades of scientific developments. Springer International Publishing, Cham, Switzerland.

Nazari, M., Abbasi Surki, A., and Fallah, S. 2017. Evaluation of the effect of Agroforestry and conventional system on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) and wheat (*Triticum aestivam* L.). *Journal of Agroecology*, 9(1), 198-216. (In Farsi)

Nguyen, M.L. 2008. Management agroforestry systems for enhancing resource use efficiency and crop productivity. IAEA TECDOC (CD-ROM), IAEA (International Atomic Energy Agency), Vienna.

Ong, C.K., Anyango, S., Muthuri, C.W., and Black, C.R. 2007. Water use and water productivity of agroforestry systems in semi-arid tropics. *Annals of Arid Zone*, 46(3&4), 1–30.

Rasul, G., and Thapa, G.B. 2006. Financial and economic suitability of agroforestry as an alternative to shifting cultivation: The case of the Chittagong Hill Tracts, Bangladesh. *Agricultural Systems*, 91(1-2), 29-50.

Sadeghi, A., Salehi, A., and Mousavi Koupar, S.A. 2015. Effect of poplar monoculture and poplar with peanut as an agroforestry cultivation on soil chemical properties. *Ecology of Iranian Forests*, 3(6), 28-35. (In Farsi)

Sanchez, P.A. 1995. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems*, 30, 5–55.

Schroth, G., and Sinclair, F.L. 2002. Trees, Crops and Soil Fertility: Concepts and Research Methods. CABI Publishing International, Wallingford, UK.

Seserman, D.M., Veste, M., Freese, D., Swieter, A., and 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.

Thevathasan, N.V., and Gordon, A.M. 2004. Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems*, 61, 257–268.

Thomas, T.H. 1990. Evaluating the economics of agroforestry using sensitivity analysis: a case study of poplar, cereals and livestock in the lowlands of the Welsh borders. In Bock, L., and Rondeux, R.J. (Eds). Marginal Agricultural Land and Efficient Afforestation. CEC Report EUR 10841. CEC, Brussels. 103–122.

Tsubo, M., Walker, S., and Mukhala, E. 2001. Comparisons of radiations use efficiency of mono-intercropping systems with different row orientations. *Field Crops Research*, 71(1), 17-29.

van Noordwijk, M., and Hairiah, K. 2000. Tree–Soil–Crop Interactions. Southeast Asia Lecture Note 2. ICRAF-SEA, Bogor, Indonesia.

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

Wang, B., Zhu, L., Yang, T., Qian, Z., Xu, C., Tian, D., and Tang, L. 2022. Poplar agroforestry systems in eastern China enhance the spatiotemporal stability of soil microbial community structure and metabolism. *Land Degradation & Development*, 33(6), 916–930.

Willey, R.W. 1990. Resource use in intercropping system. *Journal of Agricultural Water Management*, 17(1-3), 215-231.

Williams, P.A., and Gordon, A.M. 1992. The potential of intercropping as an alternative land use system in temperate North America. *Agroforestry Systems, 19*, 253–263.

Yilmaz, S., Ozel, A., Atak, M., and Erayman, M. 2015. Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the Eastern Mediterranean. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(1), 135-143

.

Sustainable Agricultural Science Research /Vol. 3/No. 2/Summer 2023/P: 15 -34

https://www.sarj.iauk.ac.ir

The Evaluation of Yield, Yield Components and Indices Advantage of Intercropping of *Populus euramericana* with *Allium sativum* in Karaj Conditions

Fatemeh Ahmadloo [1*] and Saeedeh Eskandari[1]

[1] Assistant Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran

[*] Corresponding author: email: fatemeh_ahmadloo@yahoo.com

(Received: June. 24, 2023 – Accepted: September. 22, 2023)

ABSTRACT

Intercropping fast growing trees with arable crops will improve the sustainability of farming systems, increasing productivity of land and farmer's income, and also leads to conserving and rehabilitating ecosystems. Garlic medicinal plant (*Allium sativum*) was planted between the rows of poplar (*Populus euramericana 92/40*) which were planted in March 2017 at a distance of 3 × 4 m, in late autumn of 2017. The statistical design of this research was Randomized Complete Block Design (RCBD) with 3 treatments including (garlic with poplar, pure popular culture and pure garlic culture), whose usefulness was compared based on economic value and riyals. Garlic cultivation was done in five rows with a length of 21 m and 50 cm between rows in three blocks in November 2017. During each growing season, poplar seedlings and garlic were irrigated once a week. The height and diameter at breast height (DBH) of the poplar trees were measured at the end of each growing season for four years, and then the increment in growth of height, diameter and stem volume (m^3/ha/y) were calculated and evaluated using the T-Test. The characteristics of the height of the plant, bulb and clove were measured and its biological yield was obtained. Economic evaluation of each of the pure and intercropped cultivations was done based on the indices of land equality ratio (LER), relative value total (RVT) and index advantage (IA). In 2019 and 2020, there is a statistically significant difference in the characteristics of increment at DBH and height in pure and intercropped cultivations, which is the highest in intercropped popular culture. In 2020, the highest and lowest biological yields of garlic were obtained in pure cultivation with 8791.67 kg ha^{-1} and in intercropped cultivation with 2408.33 kg ha^{-1}, respectively. In all the studied years, LER is greater than one and among 1.61 to 2.76, and in general its three-year average obtained 2.28. The value of RVT were 1.12, 1.26 and 0.27 and IA were 8.39, 9.76, and 5.28 respectively in 2018, 2019 and 2020. Therefore, the farmers in intercropped cultivation of poplar and garlic get 1.12, 1.26 and 0.27 income from pure cultivation of poplar and garlic for the years 2018, 2019 and 2020, respectively. In the intercropped cultivation of poplar with garlic in semi-arid environmental conditions of Karaj, the use of available resources and advantage index have been maximized compared to monoculture systems.

Keywords: Increment at diameter, Relative value total index, Production yield, Land equivalent ratio, Type of cultivation.