نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال سیزدهم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۲/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۶۳ تا ۷۶

ارزیابی عملکرد و شاخص‌های سودمندی کشت آگروفارستری صنوبر اورامریکن و یونجه در شرایط کرج

فاطمه احمدلو[1*] و سعیده اسکندری[1]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۹)

چکیده

امروزه، کشت آگروفارستری به‌عنوان راهبرد کلیدی کشاورزی پایدار در راستای افزایش بهره‌وری استفاده از منابع محیطی و افزایش تولید توأم چوب و محصول همراه برای دست‌یابی به درآمد بیشتر در واحد سطح روستائیان مورد توجه و استقبال محققین و کشاورزان قرار گرفته است. به‌منظور بررسی مزایای سیستم کشت آگروفارستری صنوبر اورامریکن کلن ۹۲/۴۰ (*Populus euramericana* 92/40) و گیاه یونجه (*Medicago sativa*)، آزمایشی به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی البرز در جنوب شهر کرج اجرا شد. تیمارها شامل کشت خالص صنوبر، کشت خالص یونجه و کشت صنوبر- یونجه بودند. مابین ردیف‌های صنوبر اورامریکن کاشته شده در اسفند ماه ۱۳۹۵، گیاه علوفه‌ای یونجه در اواخر پاییز ۱۳۹۶ مورد کاشت قرار گرفت. ارتفاع و قطر برابر سینه درختان صنوبر در پایان هر فصل رویش به‌مدت سه 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 و وزن خشک یونجه به‌مدت سه سال اندازه‌گیری و عملکرد هر ساله آن به‌دست آمد. ارزیابی رقابتی و اقتصادی از هر یک از کشت‌های خالص و آگروفارستری بر اساس شاخص‌های نسبت برابری زمین (LER)، شاخص مجموع ارزش نسبی (RVT) و شاخص سودمندی کشت آگروفارستری (IA) انجام شد. در سال‌های ۹۸ و ۹۹، اختلاف معنی‌دار آماری در مشخصه‌های قطر برابر سینه و موجودی حجمی در کشت آگروفارستری و خالص صنوبر وجود داشت که بیشترین مقدار هر دو پارامتر در کشت خالص صنوبر بود. در سال ۹۷، بیشترین عملکرد یونجه در کشت آگروفارستری با مقدار ۱۱۳۲۰ کیلوگرم در هکتار و در سال ۹۸، در کشت خالص با مقدار ۱۰۹۲۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در همه سال‌های مورد مطالعه LER بیشتر از یک و بین ۱/۲۷ تا ۲/۳۹ و به‌طور کلی میانگین سه ساله آن ۱/۷۸ به‌دست آمده است. مقدار RVT با ۱/۶، ۰/۶۹ و ۰/۴۱ و مقادیر IA به‌ترتیب ۶/۵۳، ۴ و ۲/۸۱ در سال‌های ۹۷، ۹۸ و ۹۹ به‌دست آمد. بنابراین کشاورزان در کشت آگروفارستری صنوبر و یونجه به‌ترتیب ۱۶۰ درصد، ۶۹ درصد و ۴۱ درصد افزایش درآمد نسبت به درآمد حاصل از تک کشتی صنوبر و یونجه را برای سال‌های ۹۷، ۹۸ و ۹۹ به‌دست خواهند آورد.

واژه‌های کلیدی: بیشه زراعی، عملکرد تولید، مجموع ارزش نسبی، نسبت برابری زمین، نوع کشت

۱. استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: fatemeh_ahmadloo@yahoo.com

مقدمه

نیاز سالانه‌ی صنایع چوب و کاغذ کشور به چوب، به‌عنوان ماده اولیه، حدود ۱۳ میلیون مترمکعب برآورد شده است (۱۸). در این راستا اگرچه ارقام صنوبر اصلاح شده با میزان راندمان تولید چوب بالا در واحد سطح می‌توانند میزان تولید مواد سلولزی را افزایش دهند اما نبود توجیه اقتصادی مناسب به‌ویژه در سال‌های اولیه زراعت و همچنین دیربازده بودن صنوبرکاری نسبت به محصولات زراعی و علوفه‌ای و نیاز کشاورزان به درآمد سالیانه از محصولات زراعی از دلایل عدم توسعه صنوبرکاری توسط کشاورزان است. بنابراین اجرای سیستم‌های چندکشتی از جمله آگروفارستری (کشت توأم درخت با گیاه زراعی) 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 (۱). لازمه‌ی رسیدن به توسعه در بخش کشاورزی، استفاده از ظرفیت‌های موجود است که آگروفارستری می‌تواند از اقتصادی‌ترین و در عین حال سودمندترین نحوه‌ی استفاده از پتانسیل‌های موجود در منطقه باشد. علاوه بر تولیدات چوبی، درآمد مکمل از زمین و توسعه اقتصاد روستایی نیز یکی از عوامل مؤثر در پذیرش کشت آگروفارستری محسوب می‌شود که ضرورت اجرای پژوهش‌هایی در زمینه تحقق توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی را ضروری می‌سازد. بهره‌وری سیستم‌های آگروفارستری 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 (۶). در این راستا تحقیقاتی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. اسدی و همکاران (۳) در کرج نهال‌های کلن صنوبر *Populus nigra* betulifolia را در چهار تیمار با فواصل کاشت درختان شامل ۳×۴، ۳×۶/۶۶، ۳×۸ و ۳×۱۰ متر صنوبر با یونجه به‌همراه دو تیمار شاهد صنوبر خالص (۳×۴ مترمربع) و یونجه خالص مورد ارزیابی قرار دادند. محققین مناسب‌ترین تیمار برای اجرای کشت تلفیقی دالانی در شرایط محل اجرای طرح را تیمار آمیخته با فاصله کاشت ۳×۶/۶۶ مترمربع صنوبر و یونجه معرفی کردند. همچنین از نظر تولید ماده خشک یونجه در هر هکتار، بیشترین مقادیر در تیمارهای یونجه خالص، ۳×۱۰ و ۳×۸ مترمربع به‌ترتیب با ۷۵۰۷، ۴۷۸۸ و ۴۲۶۵ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. در تحقیقی دیگر، کشت آگروفارستری صنوبر دلتوئیدس و بادام زمینی در فواصل ۳×۴، ۴×۶ و ۴×۹ مترمربع در ایستگاه تحقیقات زراعی فخرآباد لشت نشاء سبب افزایش رشد ارتفاعی و قطری درختان ۳ ساله از طریق افزایش ازت خاک و ذخیره بیشتر کربن خاک شده بود (۲۲). در اجرای کشت آگروفارستری *Populus alba* و یونجه در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ در ایستگاه رسول آباد میاندوآب، توسط اسدی و خداکریمی (۴)، بهترین عملکرد محصول زراعی و رویش حجمی درختان در سال چهارم و در فاصله کاشت ۳×۴ مترمربع به‌دست آمد. در توده *P. deltoides* در تلفیق با محصولات زراعی گندم و ذرت، چودری و همکاران (۷) افزایش ۱۳/۴ درصد در قطر برابر سینه، ۱۱ درصد در تراکم تاج پوشش و ۲۹/۴ درصد در تولید چوب را در مقایسه با کشت خالص صنوبر به‌دلیل استفاده مؤثر از آب و کود و عناصر تغذیه‌ای نشان دادند که تا سن ۴ سالگی این سیستم اقتصادی‌تر از کشت خالص صنوبر بود. در آزمایش جیانگ و شین (۱۴) میزان مشخصه‌های سطح برگ درختان، عرض تاج پوشش، تعداد شاخه‌ها و میانگین طول شاخه‌ها در تلفیق *Populus tomentosa* با هندوانه و سبزیجات با ۳-۱/۷ برابر، بادام زمینی و گندم با ۲/۵-۲/۲ برابر و سویا با ۱/۴۱-۱ برابر افزایش بیشتر از کشت این گونه به‌صورت خالص بود و تلفیق *P. tomentosa* با هندوانه و سبزیجات بیشترین صرفه اقتصادی را به همراه داشت. افزایش درآمد دو تا سه برابری محصول صنوبر *P. deltoides* Bartr. Ex Marsh در ترکیب با زردچوبه (*Curcuma longa* L.) و ماش (*Vigna radiata* L.) نسبت به کشت خالص نیز توسط چاوهان و همکاران (۸) گزارش شده است. همچنین این پژوهشگران، میزان درآمد در هکتار برنج در ترکیب با گندم را ۱۸۹۷ دلار، زردچوبه در ترکیب با محصولات باغی و صنوبر

را ۴۸۱۴ دلار و ابتدا کاشت ماش و پس از برداشت ماش، کاشت سیر یا پیاز در ترکیب با محصولات باغی و صنوبر را ۵۷۲۵ دلار گزارش کردند. چاوان و دیلون (۹) صنوبر (*P. deltoides G-3*) را در زمین دانشگاه کشاورزی چوداری چاران سین هاریانا، هیسار، هند در سه فاصله کاشت (۴×۵ مترمربع)، (۲×۱۰ مترمربع) و (۲×۱۸ مترمربع) در ردیف‌های دوتایی با تراکم ثابت ۵۰۰ درخت در هکتار در سال ۲۰۰۸ کشت کردند. دو تناوب زراعی برداشت محصول (سورگوم- شبدر برسیم و لوبیای چشم بلبلی- گندم) به‌عنوان محصول همراه 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 شدند. نتایج محققین نشان داد که عملکرد محصول سالیانه به‌طور قابل‌توجهی در طی سال‌ها به‌دلیل رقابت برای نور، رطوبت و تغذیه کاهش یافت. عملکرد کلی محصولات زراعی سالیانه در فواصل کشت مختلف صنوبر به‌میزان ۵/۶۷ درصد در سال دوم تا ۴۵/۶ درصد در سال هشتم کشت کاهش یافت. 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 علوفه در کشور و بهره‌وری بهینه از زمین‌های کشاورزی از سوی دیگر، استفاده از اراضی زیر کشت باغات صنوبر در قالب نظام جنگل زراعی برای تولید گیاهان علوفه‌ای از اهمیت خاصی برخوردار است. لذا تحقیق حاضر با هدف مقایسه برآورد میزان رویش و موجودی حجمی صنوبر در کشت خالص و آگروفارستری با یونجه، مقایسه میزان رشد و عملکرد یونجه در کشت خالص و آگروفارستری با صنوبر، ارزیابی شاخص سودمندی صنوبر در کشت خالص و آگروفارستری با یونجه، افزایش تولید توأم چوب و علوفه یونجه 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

مشخصات محل اجرای آزمایش

تحقیق حاضر در ایستگاه تحقیقاتی البرز در جنوب شهر کرج و در حدود ۷ کیلومتری از مرکز شهر با موقعیت جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۳۰۰ متر از سطح دریا انجام شد. بر اساس آمار هواشناسی، میانگین بارندگی سالانه ۲۵۰ میلی‌متر، حداقل مطلق درجه حرارت ۲۱/۷- درجه سانتی‌گراد، حداکثر مطلق درجه حرارت ۴۱ درجه سانتی‌گراد، میانگین درجه حرارت ۱۳/۷ درجه سانتی‌گراد، ضریب خشکی ۹/۵ (طبق فرمول دو مارتن) و جزء طبقه‌ی 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 است 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 (۵).

روش انجام آزمایش

تحقیق حاضر در زمینی به مساحت تقریبی ۱۲۵۰ مترمربع به مدت پنج سال انجام شد. در این تحقیق، ابتدا نهال‌های صنوبر اورامریکن (*Populus euramericana 92/40*) در اسفند ماه ۱۳۹۵ به فاصله ۴×۳ متر (فاصله بین ردیف‌ها ۴ متر و روی ردیف‌ها ۳ متر) کاشته شدند. سپس یونجه چند ساله (*Medicago sativa*) ما بین ردیف‌های صنوبر، در اواخر پاییز ۱۳۹۶ مورد کاشت قرار گرفت. عملیات آماده‌سازی کاشت یونجه در زمین در بین ردیف‌های صنوبر شامل شخم، دیسک، تسطیح و احداث فارو (خطوط نهر کاشت) در اواسط پاییز ۱۳۹۶ انجام شد. طرح آماری این تحقیق بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار یونجه با صنوبر، کشت خالص صنوبر و

کشت خالص یونجه) با شش تکرار بود که سودمندی آنها بر اساس ارزش اقتصادی و ریالی مورد مقایسه قرار گرفت. از تعداد ۴۲ اصله صنوبر در هر یک از کشت‌های آگروفارستری و خالص استفاده شد و مساحت ۲۵۰ مترمربع نیز برای گونه خالص یونجه مورد کاشت قرار گرفت. ابتدا بذرکاری تمام سطح زمین به‌صورت پاشیدن یکنواخت بذر یونجه همدانی با تعداد تقریبی ۶۰ بـذر در هـر مترمربع انجام شد و سپس اقدام به درآوردن فارو یا جویچه شد و بلافاصله آبیاری مزرعه انجام گرفت. در طی هر فصل رویش، نهال‌های صنوبر و یونجه هر هفته یکبار تا اواخر آبان‌ماه آبیاری شدند و یونجه در چند چین در شش پلات یک مترمربعی (نمونه‌برداری) در هر تیمار برداشت و اندازه‌گیری شدند. عملیات داشت مانند وجین علف‌های هرز به دفعات موردنیاز و به‌صورت دستی و مکانیزه در ردیف‌های درختان انجام گرفت. قطر درختان صنوبر در محل ارتفاع برابر سینه با نوار قطرسنج کالیپر مدل 9D و ۹۰ سانتی‌متری ساخت کمپانی USHIKATA ژاپن با دقت میلی‌متر و ارتفاع با شاخص آلومینیومی مدل W7H5M با دقت سانتی‌متر در پایان هر فصل رویش به‌مدت چهار سال اندازه‌گیری و سپس رویش ارتفاعی و قطری و موجودی در هکتار درختان محاسبه شد. صفات رویشی مورد بررسی برای صنوبر با استفاده از آزمون‌تی (T) در دو سیستم کشت آگروفارستری و خالص مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل مشخصه‌های یونجه نیز از طریق آزمون دو طرفه ANOVA مورد ارزیابی قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار آماری (SPSS نسخه ۲۲) انجام شد. ارتفاع بوته یونجه با خط‌کش فلزی با دقت میلی‌متر و برای تعیین وزن خشک پس از حذف ۰/۵ متر از طرفین هر کرت، گیاهان در ۶ پلات یک مترمربعی در هر کرت کف‌بر شدند و سپس آنها را به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و خشک شدند (۱۱) و توسط ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. سپس از مجموع وزن خشک هرچین، عملکرد یونجه بر حسب کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد.

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

شاخص نسبت برابری زمین (LER)

این شاخص بر اساس سطح زمین زیر کشت محاسبه می‌شود و بیانگر این است که برای به‌دست آوردن مقدار محصولی که از یک هکتار کشت مخلوط، عاید می‌شود چه مقدار از زمین به‌صورت زراعت تک‌کشتی مورد نیاز است تا همان مقدار محصول برداشت شود (۲۴) و نشان‌دهنده درجه رقابت یا همیاری در کشت آگروفارستری است. به‌منظور ارزیابی کشت آگروفارستری نسبت به کشت خالص، از شاخص نسبت برابری زمین (LER) طبق معادله ۱ اسـتفاده شـد.

$$LER = \frac{PX}{KX} + \frac{PY}{KY} \qquad (۱)$$

در این معادله، PX عملکرد گونه صنوبر در آگروفارستری، KX: عملکرد گونه صنوبر در کشت خالص (عملکرد نسبی جزء صنوبر)، PY: عملکرد گونه یونجه در کشت آگروفارستری و KY: عملکرد گونه یونجه در کشت خالص (عملکرد نسبی جزء محصول زراعی) هستند. برای تعیین این شاخص، عملکرد نسبی هر جزء محاسبه شده و مجموع آنها میزان LER را مشخص می‌کنند.

شاخص مجموع ارزش نسبی (RVT)

شاخص مجموع ارزش نسبی به‌عنوان شاخص سودمندی اقتصادی طبق معادله ۲ محاسبه شد:

$$RVT = \frac{aPX + bPY}{aKX} \qquad (۲)$$

در این معادله، RVT: شاخص مجموع ارزش نسبی، PX: عملکرد صنوبر در آگروفارستری، a: قیمت محصول صنوبر و PY: عملکرد یونجه در کشت آگروفارستری، b: قیمت محصول یونجه و KX: عملکرد صنوبر در کشت خالص هستند.

قیمت هر کیلوگرم محصولات بر حسب ریال در هر یک از سال‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارایه شده است.

کاهش یا افزایش عملکرد واقعی (AYL):

این شاخص طبق معادله ۳ محاسبه شد (۱۶).

$$AYL = AYL_a + AYL_b \quad (۳)$$

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

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

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

شاخص سودمندی کشت آگروفارستری (IA):

شاخص سودمندی اقتصادی کشت آگروفارستری طبق معادله ۴ محاسبه شد (۱۶).

$$IA = \left[(\frac{a}{a+b}) \times AYL_b \right] + \left[(\frac{b}{a+b}) \times AYL_a \right] \quad (۴)$$

در این معادله، a: قیمت محصول صنوبر، b: قیمت محصول بونجه، AYL_b: کاهش یا افزایش عملکرد واقعی گونه یونجه و AYL_a: کاهش یا افزایش عملکرد واقعی گونه صنوبر هستند.

نتایج و بحث

عملکرد صنوبر

تجزیه واریانس رویش ارتفاعی و قطری درختان صنوبر تحت تیمار نوع کشت در هر یک از سال‌های برداشت ۹۷، ۹۸ و ۹۹ در جدول ۲ ارائه شده است. مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که اثر نوع کشت اختلاف معنی‌دار آماری را در رویش ارتفاعی در سال ۹۸ و در رویش قطری در سال‌های ۹۷ و ۹۸ نشان می‌دهد. در سال ۹۷، مشخصه‌های قطر برابر سینه، ارتفاع و موجودی حجمی در کشت آگروفارستری و خالص صنوبر اختلاف معنی‌دار آماری را نشان نمی‌دهند. در سال‌های ۹۸ و ۹۹، اختلاف معنی‌دار آماری در مشخصه‌های قطر برابر سینه و موجودی حجمی در کشت آگروفارستری و خالص صنوبر وجود داشت که بیشترین مقدار آن در کشت خالص صنوبر بود (جدول ۲). صادقی و همکاران (۲۲) در بررسی‌های خود نتیجه گرفتند که اغلب نیتروژن تثبیت شده توسط گیاه زیرکشت می‌تواند مورد استفاده درختان صنوبر قرار بگیرد و درنتیجه منجر به بهبود اجزا عملکرد و در نهایت، افزایش محصول آن شود. اگر اجزای تشکیل‌دهنده کشت آگروفارستری در نحوه استفاده از منابع محیطی متفاوت عمل کنند از این منابع به‌طور مؤثرتری استفاده خواهد شد و درنتیجه در چنین حالتی عملکرد افزایش می‌یابد (۲۵). اگرچه در تحقیق حاضر موجودی حجمی درختان در کشت خالص بیشتر از کشت آگروفارستری با یونجه به‌دست آمده است که این موضوع نیاز به تحقیق بیشتر در سال‌های آینده دارد. بایستی تمامی قسمت‌های گیاه 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 می‌شود. اما در کشت خالص به‌دلیل دریافت نور کامل و فضای بیشتر برای تبادلات جریان هوا، درختان قطر برابر سینه بیشتری گرفتند و از آنجایی که قطر دو برابر در حجم مؤثر است، افزایش قطر سبب افزایش حجم بیشتر درختان در کشت خالص شده است. از طرفی درختان صنوبر اورامریکن دارای تاج گسترده هستند که به میزان نور دریافتی بیشتری جهت افزایش تولید نیاز دارند که این مورد در کشت خالص بیشتر وجود دارد. مزایای بیشتر آگروفارستری می‌تواند ناشی از تغییرات در میکرو اقلیم توسط درختان باشد که کارایی مصرف آب محصولات را افزایش می‌دهد (۲۰).

عملکرد یونجه

تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل نوع کشت و تعداد چین

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

قیمت محصولات (Kg)	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۹
صنوبر	۳۸۰۰	۶۰۰۰	۱۰۰۰۰
یونجه	۸۱۱۶	۹۹۸۶	۱۶۹۲۸

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

سال	منابع تغییرات	t	درجه آزادی (DF)	میانگین کشت آگروفارستری با یونجه	کشت خالص صنوبر
۱۳۹۷	رویش قطری	۲/۷۲*	۳۹	۲/۷۸(۰/۱)a	۲/۴۳(۰/۰۹)b
	رویش ارتفاعی	-۰/۴۱ns	۳۹	۱/۸۲(۰/۰۹)	۱/۸۸(۰/۱۳)
۱۳۹۸	رویش قطری	-۳/۲۲**	۳۹	۲/۲۶(۰/۱۷)b	۳/۱۷(۰/۱۳)a
	رویش ارتفاعی	-۳/۵۲**	۳۹	۰/۹۷(۰/۰۷)a	۰/۵۹(۰/۰۹)b
۱۳۹۹	رویش قطری	-۰/۴۳ns	۳۹	۲/۲۱(۰/۱۴)	۲/۲۶(۰/۱۶)
	رویش ارتفاعی	۰/۶۳ns	۳۹	۱/۱۷(۰/۱)	۱/۰۸(۰/۱۲)
۱۳۹۷	قطر برابر سینه	-۰/۴۳ns	۳۹	۴/۵۲(۰/۱۶)	۴/۵۹(۰/۱۲)
	ارتفاع	-۱/۹۷ns	۳۹	۴/۵۸(۰/۱۳)	۵(۰/۱۳)
	موجودی حجمی	-۰/۵۴ns	۳۹	۳/۲۶(۰/۳۷)	۳/۴۹(۰/۲)
۱۳۹۸	قطر برابر سینه	-۳/۳۵**	۳۹	۶/۶(۰/۱۸)b	۷/۷۴(۰/۲۱)a
	ارتفاع	-۰/۸۳ns	۳۹	۵/۴۷(۰/۱۲)	۵/۶۲(۰/۰۸)
	موجودی حجمی	-۲/۷۶*	۳۹	۸/۰۵(۰/۶۴)b	۱۱/۲(۰/۶۸)a
۱۳۹۹	قطر برابر سینه	-۲/۹۳**	۳۹	۸/۸۴(۰/۲۲)b	۱۰/۱(۰/۳۱)a
	ارتفاع	-۰/۰۶ns	۳۹	۶/۶۸(۰/۱۴)	۶/۶۹(۰/۱۳)
	موجودی حجمی	-۲/۴۵*	۳۹	۱۷/۴(۱/۱۱)b	۲۲/۹(۱/۸۴)a

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم سطح معنی‌داری، سطح احتمال معنی‌داری پنج و یک درصد است.

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

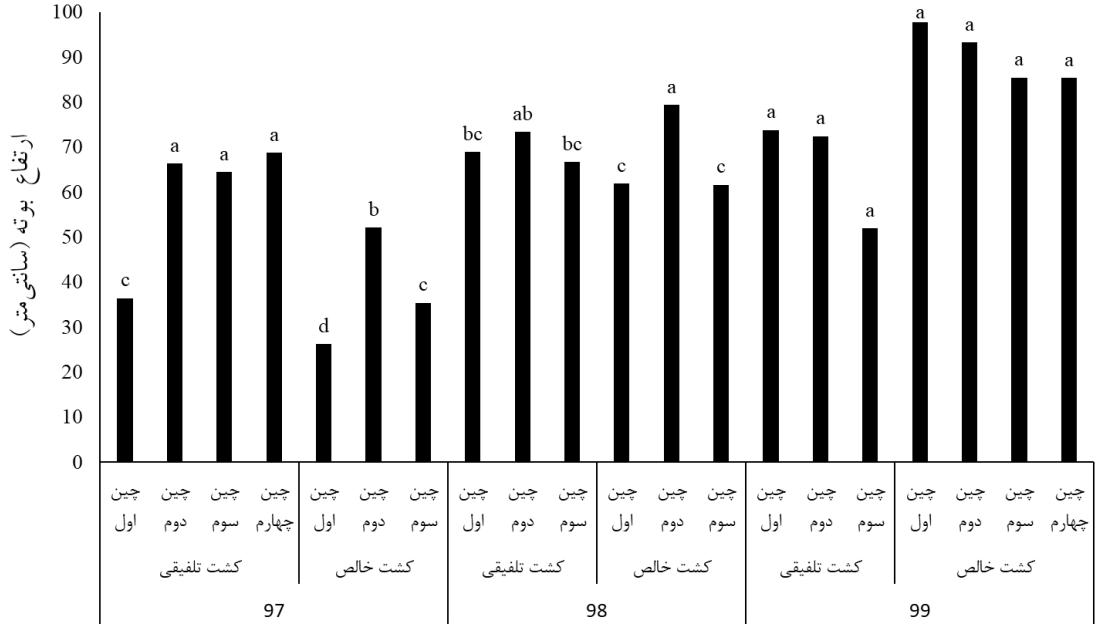
بر متغیرهای رویشی یونجه در طی سه سال برداشت در جدول ۳ ارائه شده است. اختلاف معنی‌دار آماری در اثر اصلی نوع کشت در متغیرهای رویشی ارتفاع بوته در سال‌های ۹۷ و ۹۹ و وزن خشک در سال‌های ۹۸ و ۹۹ و اثر اصلی تعداد چین بر ارتفاع بوته در هر یک از سال‌های برداشت و وزن خشک در سال‌های ۹۷ و ۹۹ وجود داشت. اثر متقابل نوع کشت و تعداد چین در متغیرهای رویشی ارتفاع بوته در سال‌های ۹۷ و ۹۸ و وزن خشک در سال‌های ۹۷ و ۹۹ اختلاف معنی‌دار آماری را نشان دادند (جدول ۳).

در سال ۹۷، بیشترین ارتفاع بوته در چین‌های دوم، سوم و چهارم در کشت آگروفارستری به‌دست آمد و کمترین آن مربوط به چین اول در کشت خالص بود و در سال ۹۸، بیشترین ارتفاع بوته یونجه در چین دوم کشت خالص این گیاه به‌دست آمد (شکل ۱). در تحقیق حاضر، در سال اول کاشت، نور به‌طور کامل در اختیار گیاه زیرکشت علوفه قرار گرفت ولیکن در سال‌های بعد با افزایش سطح تاج پوشش درختان صنوبر اورامریکن، مقدار نور دریافتی توسط یونجه کاهش یافت. اثر متقابل نوع کشت × چین برای هر سال مورد مطالعه

جدول ۳. تجزیه واریانس متغیرهای رویشی یونجه در کشت آگروفارستری و خالص در طی سه سال برداشت

منابع تغییرات	متغیرهای رویشی	۹۷ درجه آزادی	۹۷ میانگین مربعات	۹۷ F	۹۸ درجه آزادی	۹۸ میانگین مربعات	۹۸ F	۹۹ درجه آزادی	۹۹ میانگین مربعات	۹۹ F
نوع کشت	ارتفاع بوته	۱	۴۵۶۲	۲۵/۶**	۱	۳۷/۱	۰/۹۹ns	۱	۶۱۳۲	۱۲۸**
	وزن خشک		۰/۰۲	۳/۲۰ns		۰/۱۴	۸/۵۳**		۰/۳۹	۹۲/۴**
چین	ارتفاع بوته	۳	۲۴۲۹	۲۱/۱**	۲	۵۴۰	۱۴/۵**	۳	۷۳۵	۱۵/۴**
	وزن خشک		۰/۰۲	۳/۸۷*		۰/۰۳	۱/۶۲ns		۰/۰۲	۴/۲۱*
نوع کشت× چین	ارتفاع بوته	۲	۱۷۸۸	۶۶/۳**	۲	۱۴۸	۳/۹۷*	۲	۱۳۱	۲/۷۵ns
	وزن خشک		۰/۰۳	۱۳/۹**		۰/۰۰۴	۰/۲۲ns		۰/۰۵	۱۲/۵**

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم سطح معنی‌داری، سطح احتمال معنی‌داری پنج و یک درصد است.



شکل ۱. ارتفاع بوته یونجه در کشت آگروفارستری و خالص در طی سه سال برداشت

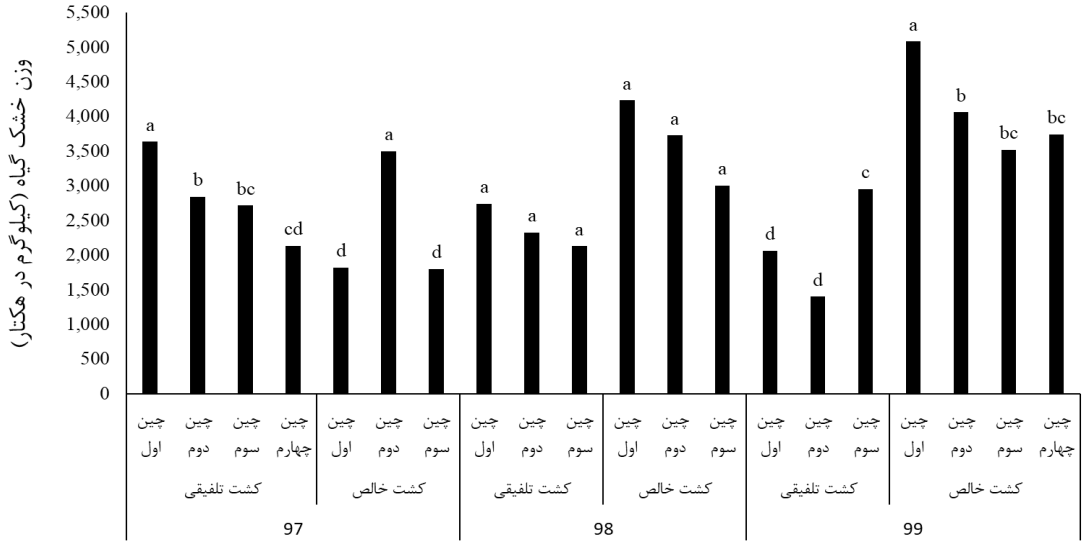
میانگین‌هایی با حروف غیرمشابه مربوط به هر سال دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در بین میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن هستند.

به‌صورت جداگانه بررسی شده است. ارتفاع بوته یونجه در سال اول در چهار چین و در سال دوم در سه چین در کشت خالص و آگروفارستری از نظر آماری اختلاف معنی‌داری داشت اما در سال سوم در تمامی چین‌ها ارتفاع یونجه از نظر عددی در کشت خالص بیشتر بود. به‌نظر 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 درنتیجه رشد طولی ساقه را محدود می‌سازد، ولی انشعابات ساقه را زیادتر می‌کند. چون کاهش میزان نور، فعالیت هورمون رشد طولی (اکسین) را کاهش می‌دهد (۱۷). حسن و همکاران (۱۲) بیان داشتند که بیشترین ارتفاع گیاه گندم (۸۲/۸۶ سانتی‌متر) در سیستم

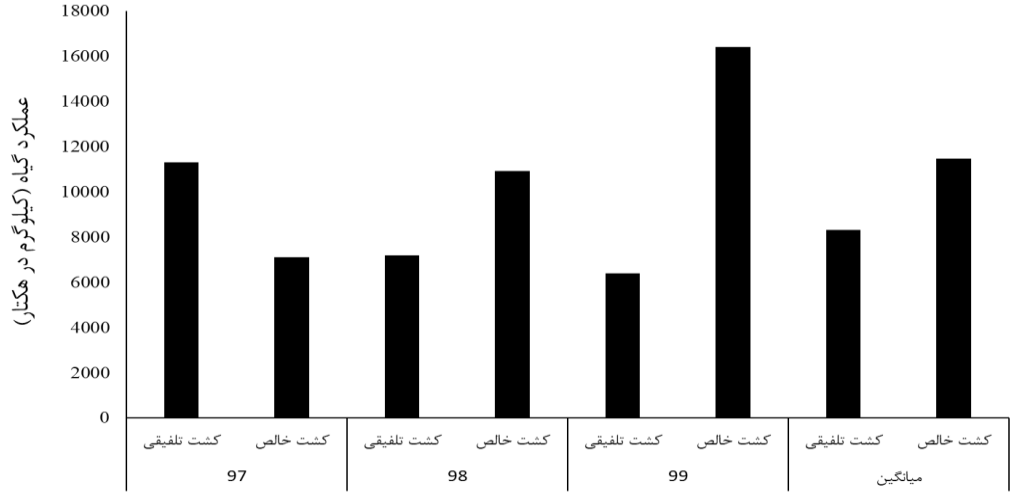
آگروفارستری با درختان شیشم (*Dalbergia sissoo* L.) و هندوران (*Swietania macrophylla* L.) و کمترین ارتفاع (۷۵ سانتی‌متر) گندم در کشت خالص این گیاه در سال اول مشاهده شد. نظری و همکاران (۱۹) نیز ارتفاع بوته گندم را در سیستم آگروفارستری گندم- بادام (۶۵ سانتی‌متر) و ارتفاع بوته جو را در سیستم آگروفارستری 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 به‌علت 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 (۱۰). 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 است (۱۰).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد در سال ۹۷، بیشترین وزن خشک در چین اول در کشت آگروفارستری و چین دوم در کشت خالص و کمترین آن در چین‌های اول و سوم در کشت خالص به‌دست آمد. در سال ۹۹، بیشترین وزن خشک در چین اول در کشت خالص و کمترین آن در چین‌های اول و دوم در کشت آگروفارستری حاصل شد (شکل ۲). برداشت یونجه در هر دو کشت تا سال سوم نیز ادامه داشت اگرچه میزان آن در کشت آگروفارستری نسبت به کشت خالص یونجه کاهش داشت. در سال چهارم دیگر بوته یونجه در کشت آگروفارستری برداشت نشد که این موضوع به گسترش تاج صنوبر مربوط می‌شود که مانع از رسیدن نور کامل به بوته‌های گیاه یونجه شده است. بنابر نتایج تحقیق حاضر بایستی فاصله کاشت درختان صنوبر اورامریکن را بیشتر در نظر گرفت تا گسترش تاج پوشش درختان مانع از تولید یونجه نشود. تعداد چین از فاکتورهایی است که کمتر به ویژگی‌های ژنتیکی وابسته است و بیشتر تحت تأثیر عوامل محیطی، به‌ویژه طول دورهٔ مناسب برای رشد گیاه، وابسته است. در سال اول تحقیق تعداد چین برداشتی یونجه در کشت آگروفارستری بیشتر بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ویژگی میزان ماده خشک آخر فصل یونجه نشان داد که ماده خشک در واحد سطح تحت تأثیر آگروفارستری قرار گرفت و مقدار آن در سال اول افزایش و در سال سوم کاهش یافت. در سیستم آگروفارستری انبه- زنجبیل (*Zingiber officinale* L.) میزان ماده خشک زنجبیل بیشتری نسبت به کشت خالص زنجبیل به‌دست آمد (۲). در پژوهشی دیگر بیشترین ماده خشک گندم در سیستم آگروفارستری گندم-صنوبر در مقایسه با تک‌کشتی گندم حاصل گردید (۱۲).

در سال ۹۷، بیشترین عملکرد یونجه (مجموع وزن خشک گیاه یونجه در تمامی چین‌های برداشت شده) در کشت آگروفارستری با مقدار ۱۱۳۲۰ کیلوگرم در هکتار و در سال ۹۸، در کشت خالص با مقدار ۱۰۹۲۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. بیشترین عملکرد یونجه در کشت خالص با مقدار ۱۶۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در کشت آگروفارستری در سال ۱۳۹۹ حاصل شد (شکل ۳). به‌طور کلی میانگین سه ساله عملکرد یونجه برتری کشت خالص را نسبت به کشت آگروفارستری به‌صورت عددی نشان می‌دهد. میزان عملکرد، مجموع وزن خشک گیاه یونجه در طی یک فصل رویش را نشان می‌دهد که مقدار آن یک عدد است. 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



شکل ۲. وزن خشک یونجه بر اساس کیلوگرم در هکتار در کشت آگروفارستری و خالص در طی سه سال برداشت میانگین‌هایی با حروف غیرمشابه مربوط به هر سال دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در بین میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن هستند.



شکل ۳. عملکرد یونجه در کشت آگروفارستری و خالص در طی سه سال برداشت

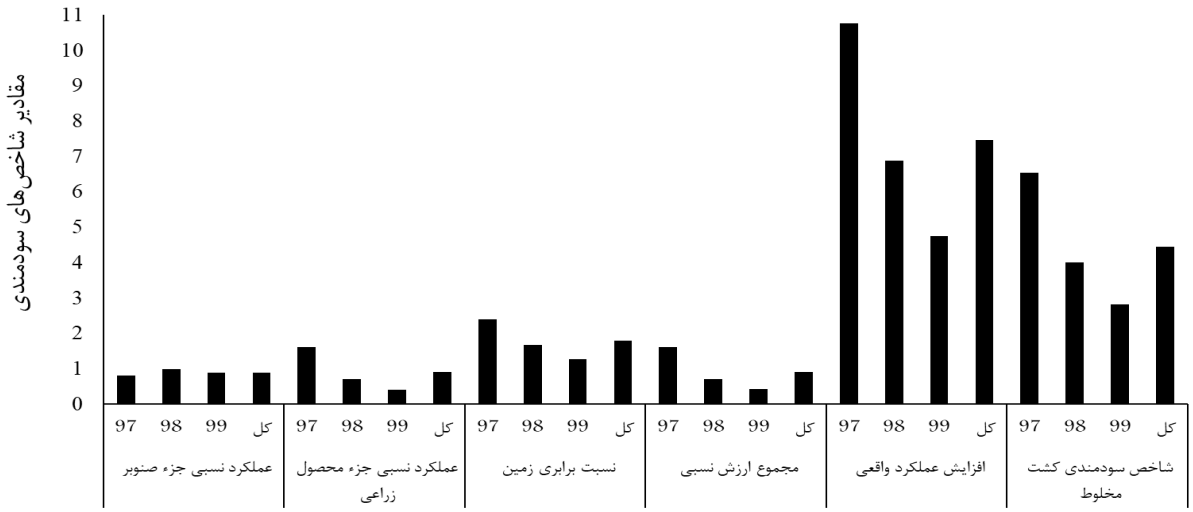
میـزان افزایش عملکرد بین ۱۱ تا ۲۷ درصد بوده است (۱۳). عملکرد بالای یونجه در سال اول کشت به اشغال آشیانه‌ای اکولوژیک متفاوت توسـط دو گونـه (یک محدوده و یک محیط مشخص برای توسعه ریشه توسط هر یک از گونه‌ها)، شرایط زیستی مناسب، تراکم مطلوب محصول زراعی و عدم رقابت بـین گونـه‌ای و همچنـین استفاده بهینه از منـابع رشـد نسـبت داده شـده است. از مزایای کشت آگروفارستری، مواردی مانند تبادل مواد غذایی، افزایش کارایی جـذب، مصـرف و بهـره‌وری نیتروژن، کاهش رقابت علف‌های هرز، ممانعت از فعالیت آفات، کنترل عوامل بیماری‌زا، کاهش تعرق و ایجاد برخی دیگر از مکانیسـم‌هـا را می‌توان نام برد که هرگز در نظام‌های تک کشتی روی نمی‌دهند (۲۳). البته کاهش میزان

عملکرد در سال‌های بعدی به‌دلیل کاهش میزان نور دریافتی بوده است.

ارزیابی کارایی و سودمندی کشت خالص و آگروفارستری

با محاسبه عملکرد نسبی جزء صنوبر (PX) در کشت آگروفارستری با یونجه در طی سال‌های ۹۹-۹۷ مشاهده شد که بیشترین میزان این عملکرد با ۰/۹۸ مربوط به سال ۹۸ و کمترین آن با ۰/۸ مربوط به سال ۹۷ بود. همچنین بیشترین میزان عملکرد نسبی جزء محصول زراعی (PY) با ۱/۶ مربوط به سال ۹۷ و کمترین آن با ۰/۳۹ در سال ۹۹ به‌دست آمد. می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که یونجه در کشت آگروفارستری بـا صنوبر در سال اول بیشترین سود و در سال‌های بعدی سود کمتری برده است. برای ارزیابی کشت آگروفارستری از نسبت برابری زمین استفاده شد. شاخص نسبت برابری زمین در میزان کاهش یا افزایش عملکرد واقعی و سودمندی کشت آگروفارستری استفاده می‌شود. بیشترین میزان این شاخص با ۲/۳۹ مربوط به سال ۹۷ و کمترین آن با ۱/۲۷ در سال ۹۹ به‌دست آمد (شکل ۴). در همه سال‌های مورد مطالعه نسبت برابری زمین بیشتر از یک بوده که نشان‌دهنده کارائی کشت آگروفارستری این دو گیاه نسبت به تک کشتی است. این نسبت بین ۱/۲۷ تا ۲/۳۹ و به‌طور کلی میانگین سه ساله آن ۱/۷۸ بود. یعنی میزان تولید کشت آگروفارستری این دو گونه ۲۷ تا ۱۳۹ درصد و میانگین ۷۸ درصد بیشتر از کشت خالص بود. این موضوع بیانگر این است که برای به‌دست آوردن مقدار مساوی عملکرد در سیستم تک کشتی به ۲۷ تا ۱۳۹ درصد زمین بیشتر موردنیاز است و نشان‌دهنده اثر مفید کشت آگروفارستری در افزایش بهره‌وری از منابع است. اگر مقدار LER بزرگتر از یک باشد کشت آگروفارستری نسبت به کشت خالص در استفاده از زمین برتری داشته است (۲۶). افزایش عملکرد را می‌توان به استفاده بهتر از منابع موجود توسط دو گیاه و اختلافات مورفولوژیک و فیزیولوژیک بین آنها در سیستم کشت آگروفارستری نسبت داد. به‌دلیل مهیا بودن آشیان‌های اکولوژی مناسب برای هر دو گونه، حداقل رقابت برون گونه‌ای وجود داشته است. در پژوهش چاوهان و همکاران (۸)، LER در هر دو تناوب زراعی ماش، کاشت سیر یا پیاز در ترکیب با محصولات باغی و صنوبر در محدوده مقادیر ۱/۷۵ تا ۲/۲۸ در سه فاصله کاشت مختلف به‌دست آمد که عدد ۲/۲۸ در کشت اگروفارستری نشان می‌دهد که اگر آنها به‌صورت توده خالص کشت شوند، ۱۲۸ درصد زمین بیشتری برای تولید هر سه محصول نیاز دارند. همچنین LER نشان می‌دهد که بهره‌وری مزرعه در یک هکتار منطقه تحت کشت آگروفارستری برابر با عملکرد محصول و درخت در ۲/۲۸ هکتار است که تحت سیستم کشت خالص رشد می‌کنند.

مقدار مجموع ارزش نسبی (RVT) با ۱/۶، ۰/۶۹ و ۰/۴۱ به‌ترتیب در سال‌های ۹۷، ۹۸ و ۹۹ به‌دست آمده است (شکل ۴). بنابراین کشاورزان در کشت آگروفارستری صنوبر و یونجه به‌ترتیب ۱/۶، ۰/۶۹ و ۰/۴۱ برابر درآمد حاصل از تک کشتی صنوبر و یونجه را در سال‌های ۹۷، ۹۸ و ۹۹ به‌دست خواهند آورد. در کشت‌هایی که RVT بزرگتر از یک شده باشد کشت آگروفارستری بر تک کشتی و در کشت‌هایی که مقدار RVT کمتر از یک شده باشد، سیستم تک کشتی بر کشت آگروفارستری برتری دارد. بنابراین در سال ۹۷ کشت آگروفارستری بر تک کشتی از لحاظ اقتصادی ارجحیت دارد و در سال‌های دوم و سوم به دلیل اینکه عملکرد یونجه در کشت خالص در مقایسه با کشت اگروفارستری بیشتر بوده است، مقدار RVT کمتر از یک شده است. بیشترین میزان افزایش عملکرد واقعی (۱۰/۷۵) در سال اول حاصل شد که نشان‌دهنده افزایش عملکرد در کشت آگروفارستری نسبت به تک کشتی است (شکل ۴). بنابراین ارزش عملکرد واقعی صنوبر و یونجه به‌عنوان اجزای آگروفارستری 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 آگروفارستری برای تولید صنوبر و یونجه است. مقادیر شاخص سودمندی کشت آگروفارستری (IA) به‌ترتیب ۶/۵۳، ۴ و ۲/۸۱



شکل ۴. مقایسه کارایی و سودمندی کشت خالص و آگروفارستری صنوبر با یونجه در طی سه سال رشد

در سال‌های ۹۷، ۹۸ و ۹۹ براساس قیمت واحد هر محصول به‌دست آمده است که نشان‌دهنده سودمندی کشت آگروفارستری در هر سه سال مورد مطالعه است و از نظر اقتصادی تا سه سال می‌توان در بین ردیف‌های صنوبر، گیاه یونجه برداشت کرد. 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 است.

بر اساس دیدگاه‌های کورت و تورنوک (۱۵) آگروفارستری درختان صنوبر و محصولات علوفه‌ای موجب افزایش تنوع درآمدی کشاورزان می‌شود، به‌طوری 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 (۲۱).

نتیجه‌گیری کلی

انتخاب گونه‌های کشت آگروفارستری بسته به شرایط اقلیمی، خاک و عوامل و ویژگی‌های منطقه‌ای متفاوت بوده و هنگامی حداکثر عملکرد به‌دست می‌آید که گیاهان تشکیل‌دهنده از نظر نحوه و میزان استفاده از منابع با یکدیگر کاملاً متفاوت باشند. از طریق آگروفارستری صنوبر با گیاهان زراعی می‌توان از کمبود هریک از محصولات جلوگیری کرد و میزان درآمد را افزایش داد. محاسبه شاخص‌های رقابتی و اقتصادی از جمله LER، RVT و IA، مزیت اقتصادی سیستم کشت آگروفارستری نسبت به تک کشتی را نشان می‌دهد که البته بستگی به نوع محصول تولیدی نیز دارد. از آنجایی که رسالت حفظ آب و خاک کشور و تأمین چوب برای مصارف گوناگون و حفظ و احیاء مراتع برای تأمین علوفه دام کشور، به‌منظور تولید گوشت بر عهده سازمان منابع طبیعی کشور است، 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 باشند، می‌توان اجرای طرح‌های آگروفارستری درختان تند رشد و زودبازده با زیراشکوب تولید علوفه، گیاهان دارویی و صنعتی را به‌صورت اصولی برنامه‌ریزی کرد تا بدین‌وسیله گام‌هایی در جهت حفظ آب و خاک و تأمین گوشت، تولید چوب و علوفه و همچنین استحصال محصولات فرعی برای مصارف گوناگون را تأمین نمود.

دلیل کاهش عملکرد در کشت آگروفارستری در سال‌های بعدی کشت، سایه‌اندازی گیاهان بر یکدیگر و کاهش جذب نور بود.

استفاده از نظام‌های زراعی مناسب مانند کشت آگروفارستری و تعیین الگوی بهینه کاشت محصولات زراعی بر اساس ویژگی‌های اکولوژیکی هر منطقه، یکی از راهکارهای مؤثر جهت افزایش بهره‌وری مصرف آب بوده که باید به‌عنوان یک راهکار کاربردی مورد توجه قرار گیرد. طراحی و مدیریت سیستم‌های آگروفارستری 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 و 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 از مزارع کشت شده توسط تبخیر و رواناب تحت عنوان زهکشی هدر می‌رود، به‌طوری‌که درختان آب را از اعماق پایین خاک و از آب‌های زیرزمینی جذب می‌کنند. سایه تاج درختان باعث کاهش تبخیر از خاک می‌شود و درنتیجه ممکن است دسترسی به آب برای محصولات در طول فصل رشد را افزایش دهد. به‌طور 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 یونجه تا آخر شهریورماه 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. همچنین ساختار تاج پوشش، توزیع ریشه درختان، بکارگیری اقدامات مختلف زراعی و نقشی که آنها در فرآیند رقابت در سیستم‌های کشت آگروفارستری ایفا می‌کنند، بایستی تمرکز تحقیقات آینده سایر محققین باشد. برای الگوهای کشت آگروفارستری و سنین مختلف درختان، شدت رقابت برای منابع در این نوع سیستم کشت متفاوت خواهد بود.

تشکر و قدردانی

از مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور بابت تـأمین اعتبار اجرای طرح تحقیقاتی، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Ahmadlou, F., M. Calagari, A. Salehi and S. Eskandari. 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).
2. Amin, M. R., T. M. T. Ikba, M. M. U. Miah, M. A. Hakim and A. S. M. Amanullah. 2010. Performance of ginger under agroforestry system. *Journal Bangladesh Research Publications* 4(3): 208- 217.
3. Asadi, F., M. Calagari, R. Ghasemi and R. Bagheri. 2012. Final results of intercropping of poplar and alfalfa in Karaj. *Iranian Journal of Forest* 4 (1): 33-44. (In Farsi).
4. Asadi, F. and A. Khodakarimi. 2016. Hedgerow intercropping of *Populus alba* and alfalfa in west Azarbayjan province, Iran. *Iranian Journal of Forest* 8(1): 51-65. (In Farsi).
5. Calagari, M., R. Ghasemi, F. Asadi and R. Baghery. 2018. Promotion of wood production of some poplar clones using sprouts management in Karaj. *Iranian Journal of Forest* 10 (1): 79-88. (In Farsi).
6. Chandra, J. P. 2011. Development of poplar-based agroforestry system. *Indian Journal of Ecology* 38: 11-14.
7. Chaudhry, A. K., G. S. Khan, M. T. Siddiqui, M. Akhtar and Z. Aslam. 2003. Effect of arable crops on the growth of poplar (*Populus deltoides*) tree in agroforestry system. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 40(1-2): 82-85.
8. Chauhan, S. K., W. S. Dhillon, N. Singh and R. Sharma. 2013. Physiological behavior and yield evaluation of agronomic crops under agri-horti-silviculture system. *International Journal of Plant Research* 3(1): 1-8.
9. Chavan, S. B. and R. S. Dhillon. 2019. Doubling farmers' income through *Populus deltoides*-based agroforestry systems in northwestern India: an economic analysis. *Current Science* 117(2): 219-226.
10. Daizy, R., R. Batish, K. Kumar, J. H. Shibu and S. Pal. 2008. Ecological Basis of Agroforestry. Taylor and Francis, New York.

11. Emam, Y., A. Hosseini, N. Rafiee and H. Pirasteh Anosheh. 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).
12. Hasan, M. M., S. M. Asaduzzaman, K. K. Islam and M. A. Hossain. 2005. Effect of organic and inorganic fertilizer on growth and yield of wheat under Agrisilvicurtural system. *Journal of Agricultural Science* 57(7): 193-205.
13. Jayachandran, B. K., J. Ancy, P. Babu, S. A. Nizam and K. R. Mridula. 1998. Under the coconut tree: in India, ginger has it made in the shade. *Agroforestry Today* 10(3): 16- 17.
14. Jiang, Y. and G. Qin. 2007. Effect of tree-crop intercropping on a young *Populus tomentosa* plantation. *Frontiers of Forestry in China* 2(2): 174–178.
15. Kort, J. and R. Turnock. 1999. Carbon reservoir and biomass in Canadian prairie shelterbelts. *Agroforestry Systems* 44: 175-186.
16. Lithourgidis, A. S., D. N. Vlachostergios, C. A. Dordas and C. A. Damalas. 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy* 34: 287-294.
17. Mazaheri, D. and N. Majnoon Hosseini. 2005. Fundamental of Farming. Tehran University Press, Tehran. (In Farsi).
18. Modir Rahmati, A., P. Panahi, V. Etemad, T. Aminpour and A. Aghajani. 2018. Wood farming, a reliable and sustainable way to supply the wood of country. *Journal of Iran Nature* 3(2): 62-76. (In Farsi).
19. Nazari, M., A. Abbasi Surki and S. Fallah. 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).
20. Nguyen, M. L. 2008. Management Agroforestry Systems for Enhancing Resource Use Efficiency and Crop Productivity. IAEA (International Atomic Energy Agency), Vienna.
21. Rasul, G. and G. B. Thapa. 2006. Financial and economic suitability of agroforestry as an alternative to shifting cultivation: The case of the Chittagong Hill Tracts, Bangladesh. *Agricultural Systems* 91: 29-50.
22. Sadeghi, A., A. Salehi and S. A. Mousavi Koupar. 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).
23. Tsubo, M., S. Walker and E. Mukhala. 2001. Comparisons of radiations use efficiency of mono-intercropping systems with different row orientations. *Field Crops Research* 71: 17-29.
24. Vandermeer, J. H. 1990. Intercropping. pp. 481-516, In C. R. Carroll, J. H. Vandermeer and P. Rosset (Eds.), Agroecology. McGraw– Hill publishing Co., New York.
25. Willey, R. W. 1990. Resource use in intercropping system. *Journal of Agriculture and Water Management* 17: 215-231.
26. Yilmaz, S., A. Ozel, M. Atak and M. Erayman. 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.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 13, No. 4, Winter 2024, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Evaluation of Yield and Advantage Indices for Agroforestry of *Populus euramericana* and *Medicago sativa* in Karaj, Iran

F. Ahmadloo[1*] and S. Eskandari[1]

(Received: May 22-2023; Accepted: October 31-2023)

Abstract

Today, agroforestry production systems as viable strategy for sustainable agriculture, is appreciated by both researchers and farmers, as it increases the efficiency of natural resources uses and may enhance the combined production of wood and crop products and hence income of the rural communities. In order to investigate the benefits of the agroforestry system of Euramerican poplar (*Populus euramericana* clone of 92/40) and alfalfa fodder plant (*Medicago sativa*), an experiment was carried out in the form of Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replications at the Alborz Research Station in the south of Karaj, Iran. The treatments included poplar pure culture, alfalfa pure culture, and poplar-alfalfa mixed culture. Alfalfa plants were planted between the rows of poplar (*Populus euramericana* clone of 92/40) which were planted in March 2015 at a distance of 3 × 4 m, in late autumn 2016. The height and diameter at breast height (DBH) of the poplar trees were measured at the end of each growing season for three consecutive years, and then the annual increment in growth of height, diameter and stem volume (m^3/ha) were calculated and evaluated using the T-Test. The plant height and dry weight of alfalfa were measured for the three years and its total annual fodder dry mass yield was obtained. Competitive and economic evaluation of each of the pure and agroforestry cultivations was done based on the indices of land equality ratio (LER), relative value total (RVT) and advantage index (IA). In 2019 and 2020, there was a statistically significant difference in the DBH and stem volume in pure and agroforestry cultivations, indicating the highest values for both parameters in pure poplar culture. In 2018, the highest alfalfa fodder dry mass yield was obtained in agroforestry cultivation with 11320 kg ha^{-1} but the highest alfalfa fodder dry mass in 2019 (with 10928 kg ha^{-1}) belonged to its pure cultivation. In all the studied years, LER was greater than one and ranged from 1.27 to 2.39, with the three-year average being 1.78. The values for RVT in 2018, 2019, and 2020 were 1.6, 0.69 and 0.41 and those for IA were 6.53, 4, and 2.81, respectively. Therefore, adopting agroforestry by cultivation of poplar and alfalfa will enable the farmers to receive 160%, 69%, and 41% increases in income compared to the income from pure cultivation of poplar and alfalfa for the years 2018, 2019 and 2020, respectively.

Keywords: Agroforestry, Production performance, Relative value total, Land equality ratio, Type of cultivation

1. Assistant Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran. Iran.
*: Corresponding Author, Email: fatemeh_ahmadloo@yahoo.com- ahmadloo@rifr-ac.ir