دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 36, Issue 1, 2026, Pages 15-37

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Evaluation of Yield and Ecological Indices of camelina- chickpea Intercropping in dryland and Irrigation Conditions under different Nitrogen Levels

Shahzad Jamaati Somarin[1], Elmira Mohammadvand[2*], GholamReza MohsenAbadi[2], Majid Majidian[2]

Received: 22 May 2024	Accepted: 10 October 2024

1- PhD Student of Agrotechnology (Crop Ecolgy), Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
2- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
*Corresponding Author Email: mohammadvand@guilan.ac.ir

Abstract:
Background and objectives: Considering the problems related to water scarcity and reduced precipitation in the region, and the importance of expanding oilseed cultivation as well as research programs on crops with low water and fertilizer requirements in Ardabil Province (Namin), a study was conducted to evaluate the yield and ecological indices of camelina–chickpea intercropping under different nitrogen fertilizer levels in irrigated and rainfed conditions in this region.

Materials and methods: The experiment was conducted as a split-factorial arrangement based on a randomized complete block design with three replications during the 2022–2023 cropping year. Experimental treatments included irrigation at two levels-irrigated (three irrigations) and rainfed (no irrigation)-assigned to the main plots. The factorial treatments in the subplots consisted of nitrogen fertilizer at two levels: control (11.5 kg ha^{-1} pure nitrogen applied as a starter and uniformly for all treatments) and 46 kg ha^{-1} pure nitrogen, along with seven cropping patterns. These included sole cropping of camelina and chickpea and their intercropping based on replacement series patterns: 1:1, 2:2, and 3:3 (equal ratio, 50% of each crop), 2:1 (66% and 33%, respectively), 1:2 (33% and 66%, respectively), and a mixed cropping of camelina and chickpea (equal ratio, 50% of each crop).

Results: Under irrigated conditions, intercropping showed superiority over other treatment levels in most of the studied traits, including grain yield. The land equivalent ratio (LER) for camelina–chickpea intercropping was greater than one and positive. The best treatment combination was observed in the 2:2 intercropping pattern of camelina and chickpea under irrigated conditions with the control fertilizer level. The competition ratio of camelina was highest under rainfed conditions with the control fertilizer level in the intercropping ratios of 2:1 (66:33), followed by 1:1, 3:3, 2:2, and 1:2, respectively. Overall, the mean competition ratio of camelina exceeded that of all other studied treatments, indicating the highest competitive ability in these treatments.

Conclusion: Considering the climatic conditions of Ardabil Province, the irrigated treatment combined with the application of 46 kg ha^{-1} pure nitrogen and intercropping arrangements of 3:3 and 2:2 camelina with chickpea (50:50) can be recommended.

Keywords: Land Equality Ratio, Mixed Cropping, Nitrogen Fixation, Oilseeds, Water Deficit

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2026 Elmira Mohammadvand Email: mohammadvand@guilan.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2024.61757.3225

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، صفحات ۳۷-۱۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

ارزیابی عملکرد و شاخص‌های اکولوژیک کشت مخلوط کاملینا– نخود در شرایط فاریاب و دیم تحت سطوح مختلف نیتروژن

شهزاد جماعتی ثمرین[۱]، المیرا محمدوند*[۲]، غلامرضا محسن‌آبادی[۲]، مجید مجیدیان[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۲	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۹

۱- دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی (اکولوژی گیاهان زراعی)، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

چکیده

مقدمه و اهداف: باتوجه به مشکلات مربوط به کمبود آب و کاهش بارندگی در منطقه و اهمیت توسعه کشت دانه‌های روغنی و برنامه‌های تحقیقاتی درباره گیاهان کم‌توقع به آب و کود در استان اردبیل (شهرستان نمین)، مطالعه‌ای به منظور ارزیابی عملکرد و شاخص‌های اکولوژیک زراعت مخلوط کاملینا با نخود در اثر سطوح کود نیتروژن تحت شرایط فاریاب و دیم در این منطقه انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۴۰۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در دو سطح آبیاری (سه بار) و کشت دیم (عدم آبیاری) در کرت اصلی و فاکتوریل کود نیتروژن در دو سطح شامل شاهد (۱۱/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به صورت استارتر و یکسان برای کلیه تیمارها) و ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) و الگوهای کشت مخلوط در هفت سطح شامل کشت خالص کاملینا و نخود و کشت مخلوط کاملینا با نخود که به صورت سری‌های جایگزینی والگوهای کشت مخلوط کاملینا – نخود شامل آرایش‌های ۱:۱، ۲:۲، ۳:۳ (به نسبت مساوی ۵۰ درصد از هر دو گیاه)، ۱:۲ (به ترتیب با نسبت ۶۶ و ۳۳ درصد)، ۲:۱ (به ترتیب با نسبت ۳۳ و ۶۶ درصد)) و کشت مخلوط درهم کاملینا با نخود (به نسبت مساوی ۵۰ درصد از هر دو گیاه) در کرت فرعی بود.

یافته‌ها: کشت مخلوط در شرایط فاریاب، در بیشتر صفات مورد بررسی از جمله عملکرد دانه، بر سایر سطوح تیماری برتری داشت. شاخص نسبت برابری زمین در کشت مخلوط کاملینا با نخود، بیشتر از یک و مثبت بود. بهترین ترکیب تیماری مربوط به ترکیب الگوی کشت مخلوط ۲:۲ کاملینا با نخود در کشت فاریاب با سطح کودی شاهد، مشاهده شد. نسبت رقابت در گیاه کاملینا در ترکیب تیماری شرایط کشت دیم با سطح کودی شاهد در نسبت کشت مخلوط ۱:۲ (۳۳:۶۶)، ۱:۱، ۳:۳، ۲:۲ و ۲:۱ به ترتیب بالاترین مقدار را به خود اختصاص دادند و در مجموع نیز به صورت میانگین از کلیه تیمارهای مورد مطالعه، بیشتر بودند و بالاترین رقابت برای این تیمارها ثبت شد.

نتیجه‌گیری کلی: با توجه به شرایط اقلیمی استان اردبیل، ترکیب تیماری کشت فاریاب با کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص با آرایش کشت ۳:۳ و ۲:۲ کاملینا با نخود (۵۰:۵۰) می‌تواند قابل توصیه باشد.
واژه‌های کلیدی: کشت درهم، نسبت برابری زمین، تثبیت نیتروژن، دانه‌های روغنی، کمبود آب.

مقدمه

کشت مخلوط به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های مؤثر کشاورزی پایدار ضمن افزایش تنوع اکولوژیکی و اقتصادی، باعث افزایش عملکرد، استفاده کارآمدتر از منابع موجود مانند زمین، کار، آب و عناصر غذایی، کاهش مشکلات آفت‌ها و بیماری‌ها، افزایش ثبات بوم-نظام و تغذیه مطلوب‌تر انسان و دام و برتری اقتصادی می‌شود (نعمت‌اللهی و همکاران ۲۰۱۳). در واقع یکی از روش‌های ایجاد پایداری و حفظ سلامت محصولات کشاورزی و اکوسیستم‌های کشاورزی استفاده از روش‌های زراعت مخلوط است (راعی و همکاران ۲۰۱۱). سیستم‌های کشت مخلوط علاوه بر مزیت‌های متقابل برای گیاهان، اغلب به سطح کمتری برای عملکرد یکسان در مقایسه با تک‌کشتی نیاز دارند (روتر و همکاران ۲۰۲۲). در حالی که سیستم‌های چندکشتی در اروپا و همچنین تا حدودی در آمریکای شمالی بیشتر به صورت کشت مخلوط دو محصول سه کربنه (C_3) هستند، کشت مخلوط ردیفی یا نواری گیاهان زراعی سه کربنه (C_3) با محصولات زراعی چهارکربنه (C_4) در بقیه نقاط جهان معمول‌تر است (یو و همکاران ۲۰۱۵). این سیستم‌های کشت مخلوط عمدتاً با ورودی‌های نیتروژن بالا و تمایز زمانی قابل توجهی که منجر به افزایش عملکرد کل[1] می‌شود، مشخص می‌شوند (لی و همکاران ۲۰۲۰). فراتر از موانع فنی موجود در کشاورزی، یک سیستم کشت مخلوط درهم[2] برای افزایش بهره‌وری و کیفیت محصول امیدبخش است و به طور همزمان وضعیت برد-برد را برای تنوع کشاورزی و مزایای بیشتری را برای اکوسیستم فراهم می‌کند (ایورسون و همکاران ۲۰۱۴).

در ایران به دلیل وجود اقلیم خشک و کمبود زمین‌های مستعد و حاصلخیز کشاورزی باید سعی گردد که از این منابع محیطی محدود از جمله آب، در جهت بهینه استفاده گردد. به نظر می‌رسد که استفاده از سیستم کشت مخلوط، روشی مناسب در بهره‌برداری بهتر از زمین‌های زراعی و گامی در جهت بهینه‌سازی مصرف آب باشد (رن و همکاران ۲۰۱۶). دباغ محمدی‌نسب و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی سودمندی کشت مخلوط ذرت و لوبیا به همراه کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی، به این نتیجه رسیدند که استفاده از کود زیستی به جای کود شیمیایی سبب افزایش مجموع عملکرد نسبی و نسبت برابری زمین گردید که بیانگر افزایش کارایی کشت مخلوط ذرت و لوبیا در صورت استفاده از کودهای زیستی است. ترکمان و همکاران (۲۰۱۹) نیز در مقایسه کشت مخلوط کلزا با نخود، نشان دادند سودمندی شاخص‌های ضریب نسبی تراکم و نسبت برابری زمین در کشت مخلوط بیش‌تر از کشت خالص بود؛ به‌نحوی‌که در تمام تیمارهای کشت مخلوط نسبت برابری زمین بالاتر از یک بود. به‌طورکلی، کارآیی استفاده از زمین در کشت مخلوط ۵۰:۵۰ کلزا و نخود در مقایسه با سایر تیمارها بیش‌تر بود که می‌تواند در مقایسه با تک‌کشتی هر یک از گونه-های کلزا و نخود کارآیی استفاده از زمین را افزایش دهد. همچنین، با افزایش نسبت کلزا به نخود به نسبت‌های ۷۵ و ۱۰۰ درصد، به علت اختلاف ارتفاع میان دو گیاه، رقابت کلزا با نخود تشدید شده و این موضوع سبب کاهش عملکرد نخود نسبت به کلزا شد (ترکمان و همکاران ۲۰۱۹). محققین گزارش کردند که در کشت مخلوط دو گیاه غیرحبوبات (جو و کاملینا) در مقایسه با توده‌های مخلوط با نخود زراعی، که به افزایش عملکرد دانه و محتوای پروتئین منجر می‌شود، نخود اثرات معکوس داشت و منجر به کاهش محتوای پروتئین در دانه جو شد، در کشت مخلوط با کاملینا نیز، عملکرد کمی و کیفی تحت تاثیر قرار نگرفتند ولی مزایای کشاورزی اکولوژیک که در کشت مخلوط درهم دیده می‌شود مانند کنترل زیستی، عملکرد خاک و حاصلخیزی یا انعطاف‌پذیری (ایورسون و همکاران ۲۰۱۴؛ گلاز-کورکروران و همکاران ۲۰۲۰) به خوبی قابل مشاهده بود (روتر و همکاران ۲۰۲۲).

کاملینا (*Camelina sativa* L.) یک محصول دانه روغنی است که به دلیل ترکیب اصلی دانه و تنوع کاربردهای آن مورد مطالعه قرار گرفته است (چاتورویدی و همکاران ۲۰۱۸). کاملینا نسبت به سایر دانه‌های روغنی نیاز کمتری به نهاده‌های کشاورزی دارد

[1] - Total Yield

[2] - Mixed Cropping

و در زمان کوتاه‌تری قابل برداشت است و میزان عملکرد کاملینا را حدود ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در هکتار نیز گزارش کرده‌اند و درصد روغن دانه را نیز تا ۴۵ درصد می‌توان انتظار داشت (اشکلینگر و همکاران ۲۰۱۲؛ گیچ و کرماک ۲۰۱۱). این گیاه بسیار کم‌توقع بوده و نیاز کودی بسیار پایینی دارد ولی برای دستیابی به عملکرد مناسب، بهتر است که حدود ۷۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیترون در هکتار مصرف شود (اشکلینگر و همکاران ۲۰۱۲). نیاز آبی کاملینا نسبتا پایین بوده و به صورت دیم قابل کشت است. در کشت آبی، این گیاه نیاز به حداقل سه مرحله آبیاری دارد. در صورت دسترسی به منابع آب آبیاری، انجام آبیاری تکمیلی در مرحله خورجین‌دهی و پرشدن دانه می‌توان افزایش عملکرد تا ۲/۵ تن در هکتار را انتظار داشت. عملکرد بذر کاملینا در شرایط دیم در شرایط اقلیمی کرمانشاه از ۱ تا ۱/۵ تن در هکتار گزارش شده است (کهریزی و رستمی احمدوندی ۲۰۱۴).

نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از گیاهان زراعی خانواده حبوبات، با ویژگی‌های ارزشمند تغذیه‌ای شناخته شده است و منبع مهمی برای تغذیه انسان، خوراک دام و علوفه می‌باشد (فانگ و همکاران ۲۰۱۰) نخود زراعی در بیش از ۱۱ کشور و در کلیه مناطق جهان به جز نواحی قطبی کشت می‌شود (میرزایی و همکاران ۲۰۱۷). نخود یکی از بقولات مهم در آسیای غربی و آفریقای شمالی است. این گیاه تقریباً در تمام نقاط جهان به‌ویژه در مناطق نیمه خشک به طور وسیعی کشت می‌شود (مجنون‌حسینی ۲۰۱۵). ۳۳ کشور در تولید نخود نقش موثر دارند که تعداد ۱۸ کشور بالای ۲۰ هزار هکتار سطح زیر کشت دارند و از نظر سطح زیر کشت کشورهای هندوستان، پاکستان، استرالیا، ترکیه، میانمار، ایران، اتیوپی، مکزیک و کانادا چشم‌گیر بوده به طور متوسط در سال ۱۳/۵۴ میلیون هکتار سطح زیر کشت نخود با متوسط تولید ۱۳/۱ میلیون تن با متوسط عملکرد ۹۵۵ کیلوگرم نخود در جهان تولید می‌گردد. در ایران به‌طور متوسط ۴۰۰ هزار هکتار با متوسط تولید ۱۷۳ هزار تن تولید می‌شود (فائو ۲۰۲۰). به دلیل قدرت تثبیت نیتروژن از جایگاه ویژه‌ای در کشت مخلوط برخوردار است (بانیک و همکاران ۲۰۰۶). پایداری عملکرد اقتصادی از اهداف مهم بیشتر تحقیقات کشاورزی و همچنین سیستم‌های توسعه‌یافته است و برای رسیدن به این هدف، کشت مخلوط نقش اساسی را بازی می‌کند و گیاهانی نظیر دانه‌های روغنی مثل کلزا، کاملینا و ... و نخود از این نظر مستثنی نیستند و کشت مخلوط کلزا و نخود می‌تواند از نظر اقتصادی و احتمالا محیطی امیدبخش باشد (ترکمان و همکاران ۲۰۱۹).

با توجه به این رابطه که کشت مخلوط کاملینا با حبوبات می‌تواند کیفیت این گیاهان را افزایش دهد بنابراین، یک آزمایش مزرعه‌ای با لگوم‌ها (حبوبات، دانه روغنی) برای گیاه کاملینا با لگوم‌ها برای آزمایش اثرات محصول مخلوط و نسبت اختلاط بر عملکرد، اجزای عملکرد، پارامترهای کیفی و کارایی استفاده از زمین در شرایط دیم و فاریاب در راستای کشاورزی پایدار انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۴۰۲-۱۴۰۱ در استان اردبیل (مزرعه تحقیقاتی، زیر نظر جهاد کشاورزی استان اردبیل، واقع در روستای محمودآباد شهر آبی‌بیگلو شهرستان نمین، بخش ویلکیج، دهستان ویلکیج مرکزی واقع در ۳۰ کیلومتری شرق شهرستان اردبیل استان اردبیل) با مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵۶ دقیقه و ۹۲ عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۵۶ دقیقه و ۹۲ ثانیه طول شرقی که سال قبل تحت آیش بود اجرا شد. این منطقه در نزدیکی (دو کیلومتری جنوب شرقی) شهر آبی‌بیگلو نمین قرار دارد که در بین سه ضلع مثلث شهری اردبیل، نمین و آستارا واقع شده و جنگل فندقلو نیز در حاشیه شرقی این شهر قرار دارد. ارتفاع از سطح دریا حدود ۱۴۰۰ متر است. میانگین دمای سالانه حدود ۲۰ درجه و منطقه‌ای هموار و به صورت دشت بوده و آب و هوای مایل به سرد دارد و دارای متوسط بارش ۳۰ ساله ۱۸۳ میلی‌متر بوده و به دلیل نزدیکی به جنگل حیران، اغلب پوشیده از مه می‌باشد. نتایج آزمایش خاک مزرعه مورد کشت در جدول (۱) و آمار هواشناسی نیز که از اداره هواشناسی استان اردبیل تهیه شده است در جدول (۲) ارایه شده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک مزرعه مورد آزمایش

بافت	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	درصد آهک	درصد اشباع	واکنش خاکpH	Ec (dS/m)
رس لوم	۳۲	۲۸	۳۸/۷۷	۴/۷۵	۵۲/۵	۷/۵۵	۲/۰۰
منگنز (ppm)	مس (ppm)	آهن (ppm)	روی (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	فسفرقابل جذب (ppm)	نیتروژن (%)	درصد کربن آلی
۴/۳۰	۸/۵۷	۲/۶۱	۲/۴۱	۵۹۶	۲/۲	۰/۰۸۵	۰/۸۶۹

جدول ۲- مشخصه‌های اقلیمی محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد گیاهان مورد مطالعه

ماه	حداکثر دما (^{O}C)	حداقل دما (^{O}C)	میانگین دما (^{O}C)	مقدار بارش برای کاملینا (mm)	مقدار بارش برای نخود (mm)	میانگین رطوبت نسبی (٪)	میزان تبخیر ($mm.day^{-1}$)	طول فصل رشد کاملینا (day)	طول فصل رشد نخود (day)
اسفند	۱۵/۳۴	۳/۶۴	۹/۴۹	۱۵/۵	۱۵/۵	۶۷/۲۵	۰	۱۰	۱۰
فروردین	۱۶/۶۳	۳/۸۲	۱۰/۲۳	۱۴/۲۳	۱۴/۲۳	۶۴/۰۹	۵/۵۹	۳۱	۳۱
اردیبهشت	۲۱/۰۲	۶/۶۵	۱۳/۸۳	۷۵/۸۴	۷۵/۸۴	۶۹/۲۳	۵/۲۶	۳۱	۳۱
خرداد	۲۴/۵۱	۱۱/۷۴	۱۸/۱۳	۳۶/۳۴	۳۶/۳۴	۷۲/۲۹	۵/۵۶	۳۱	۳۱
تیر	۲۴/۲۲	۱۲/۲۲	۱۸/۲۲	۰/۷	۳/۷	۶۸/۳۸	۷/۲۵	۲۴	۳۱
مرداد	۲۵/۷۲	۱۴/۶۵	۲۰/۱۹	۰	۰/۸۱	۶۵/۳۶	۸/۹۷	۰	۸
جمع برای طول فصل رشد گیاه	۲۱/۲۴	۸/۷۹	۱۵/۰۱۵	۱۴۲/۶۱	۱۴۶/۴۲	۶۷/۷۷	۵/۴۴	۱۲۷	۱۴۲

آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمار آبیاری شامل دو سطح آبیاری (سه بار) و عدم آبیاری یا کشت دیم (فقط استفاده از آب بارندگی) در کرت‌های اصلی قرار گرفت. آبیاری (فقط برای کرت‌های دارای تیمار آبیاری) بر اساس تبخیر از تشتک تبخیر کلاسA که به صورت مجموع تبخیر اخذ شده از ایستگاه هواشناسی در سه دوره ۲۵ روزه پس از کاشت انجام شد. میزان آب ورودی به مزرعه نیز با استفاده از تانکر و کنتور هوشمند متصل به لوله آن، اندازه‌گیری شد. برای کرت‌های دیم نیز هیچ‌گونه آبیاری انجام نشده و فقط از آب بارندگی استفاده کرد. ترکیب فاکتوریل نیتروژن و الگوهای کشت مخلوط در کرت‌های فرعی قرار داده شد. باتوجه به‌اینکه گیاه اصلی ما در این تحقیق گیاه کاملینا بود بنابراین مبنای آبیاری برای هر دو گیاه کشت شده در این طرح، کاملینا بود.

نیتروژن شامل دو سطح شاهد (۱۱/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، معادل ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره به صورت استارتر و یکسان برای کلیه تیمارها) و سطح ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، معادل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (مصرف ۳۴/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، معادل ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره + ۱۱/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، معادل ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره) بود. ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۱۱/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن)، به صورت استارتر و به‌صورت مساوی برای کلیه کرت‌ها استفاده شد. در تیمار کودی، بعد از کاربرد استارتر مابقی در دو مرحله فنولوژیک، ابتدای ساقه‌دهی و ابتدای ظهور خورجینک‌های کاملینا، بطور مساوی قبل از آبیاری (در تیمار فاریاب) و یا بارندگی در سطح کرت‌های آزمایشی پخش شد.

الگوهای کشت مخلوط شامل هفت سطح و عبارت بودند از: کشت خالص کاملینا با تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع (۲۰×۲ سانتی‌متر- به ترتیب فاصله بین ردیف و روی ردیف)، کشت خالص نخود با تراکم ۳۰ بوته در مترمربع (۲۰×۱۷ سانتی‌متر- به ترتیب فاصله بین ردیف و روی ردیف) و کشت مخلوط کاملینا با نخود که به صورت سری‌های جایگزینی کاشته شد. الگوهای کشت مخلوط کاملینا – نخود شامل آرایش های ۱:۱، ۲:۲، ۳:۳ (به نسبت مساوی ۵۰ درصد از هر دو گیاه)، ۱:۲ (به ترتیب با نسبت ۶۶ و ۳۳ درصد)، ۲:۱ (به ترتیب با نسبت

۳۳ و ۶۶ درصد)) و کشت مخلوط درهم کاملینا با نخود (به نسبت مساوی ۵۰ درصد از هر دو گیاه) بود.

برای آماده‌سازی زمین یک شخم متوسط با گاوآهن قلمی در پاییز انجام شد و از یک دیسک و پنجه غازی به همراه ماله سبک در اول پاییز برای خردکردن کلوخ‌ها و تسطیح خاک استفاده شد. کاشت به صورت دستی و بذرها در عمق یک سانتی‌متری خاک کشت شد. کشت هر دو گیاه در زمستان (۲۰ اسفندماه) انجام شد. ارقام مورد استفاده شامل کاملینا (رقم سهیل) و نخود (رقم گوکسو) بود. هر کرت مشتمل بر ۱۰ ردیف کاشت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر و به طول چهار متر در نظر گرفته شد. اندازه هر کرت آزمایشی حدود هشت مترمربع بود. کاشت همزمان کاملینا و نخود به صورت ردیفی و درهم و مطابق با تیمارهای مختلف کشت مخلوط، تنش و کود نیتروژن و به صورت دستی انجام شد. فاصله هر کرت از کرت کناری نیم متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر یک و نیم متر بود. علف‌های هرز در دو مرحله، (مرحله اول: ابتدای رشد رویشی و مرحله دوم: ساقه‌روی کامل بوته‌های کاملینا)، به طور کامل و به صورت مکانیکی، کنترل شد. در زمان رسیدگی، برداشت نهایی (کاملینا در اواسط تیرماه و نخود در اواخر تیرماه) انجام شد.

به منظور حذف اثرات حاشیه‌ای، دو ردیف کناری حذف شده و نیم متر ابتدا و انتهای هر ردیف حذف شد و از داخل هر کرت آزمایشی، خطوط میانی انتخاب و عملیات برداشت، از ردیف‌های میانی آن انجام شد. به منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد دانه، بوته‌های موجود در هر یک از کرت‌ها کف‌بُر شده و در داخل پاکت‌های مجزا به آزمایشگاه منتقل شد. سپس تعداد دانه همه آن‌ها نیز شمارش شد. همچنین تعداد شاخه نیز شمارش شد و در نهایت نسبت به اندازه‌گیری صفات دانه‌های به دست آمده از جمله پروتئین دانه نخود و درصد روغن دانه کاملینا، اقدام شد. برای تعیین درصد پروتئین، ابتدا درصد نیتروژن دانه در هر گیاه با استفاده از روش کجلدال اندازه‌گیری شد سپس درصد پروتئین دانه از فرمول زیر محاسبه شد (ماگومیا و همکاران ۲۰۱۴):

رابطه (۱): درصد پروتئین دانه = درصد نیتروژن × ضریب پروتئین (۶/۲۵)

همچنین، روغن موجود در دانه‌های کاملینا، از طریق روش سوکسله و توسط حلال آلی متانول کلروفرم با نسبت یک به دو استخراج شد. عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار بر هکتار) نیز از حاصل‌ضرب این درصد در عملکرد دانه کاملینا محاسبه شد (آ.اُ.آ.سی ۱۹۸۰؛ پریتچاردو همکاران ۲۰۰۰).

برای ارزیابی کارایی و سودمندی کشت مخلوط از معیارهای نسبت برابری زمین (LER[3]) نسبت برابری زمین استاندارد (LERs[4]) و مجموع ارزش نسبی (RVT[5]) استفاده شد. شاخص‌های مزبور با استفاده از روابط زیر محاسبه و ارزیابی می‌شوند (واندرمر ۱۹۹۰؛ اویجولا و مئاد ۱۹۸۲). نسبت برابری زمین بر اساس سطح زیر کشت محاسبه می‌گردد و بوسیله آن مشخص می‌شود که برای بدست آوردن محصول معادل یک هکتار کشت مخلوط، در کشت خالص چه مقدار زمین موردنیاز است تا همان مقدار محصول بدست آید (بیلماز و همکاران ۲۰۱۵).

نسبت برابری زمین (LER) و نسبت برابری زمین استاندارد (LERs)

رابطه (۲ و ۳):

$$LER = (Y_{ba}/Y_{bb}) + (Y_{ab}/Y_{aa}) = LER_a + LER_b$$

$$LER_s = (Y_{ab}/ Y_{aamax}) + (Y_{ba}/ Y_{bbmax})$$

[3] - Land Equivalent Ratio
[4] - Land Equivalent Ratio Standard
[5] - Relative Yield Total

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 36, Issue 1, 2026, Pages 15-37

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

که Yab عملکرد گونه a در کشت مخلوط؛ Yaa عملکرد گونه a در کشت خالص؛ Yba عملکرد گونه b در کشت مخلوط و Ybb عملکرد گونه b در کشت خالص و Y_{aamax} و Y_{bbmax} به ترتیب حداکثر عملکردهای کشت خالص گونه a و گونه b می‌باشند.

کاهش یا افزایش عملکرد واقعی (AYL) طبق معادله زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۴):

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

در این رابطه: Zab = درصد گونه a در کشت مخلوط و Zba = درصد گونه b در کشت مخلوط

شاخص AYL اطلاعات ارزشمندی در مورد رقابت و رفتار هر گونه در مخلوط به دست می‌دهد، از شاخص AYL جزئی می‌توان کاهش یا افزایش عملکرد را به‌دست آورد. در صورتی که LER جزئی مربوط به هرگونه چنین قابلیتی ندارد (بانیک و همکاران ۲۰۰۶).

نسبت رقابت (CR) شاخص مهمی برای دانستن توانایی رقابت یک محصول با محصول دیگر است (ویلی و رائو ۱۹۸۰) با بررسی مفهومی به نام نسبت رقابت اگرچه میزان اضافه محصول نشان داده نمی‌شود، ولی با اشاره به شدت رقابت بین دو گونه در تیمارهای مختلف می‌توان نسبت به سودمندی کشت مخلوط قضاوت کرد (ییلماز و همکاران ۲۰۱۵).

رابطه (۵):

$$CR_f = (LER_f/LER_s) \times (Z_{sf}/Z_{fs})$$
$$CR_s = (LER_s/LER_f) \times (Z_{fs}/Z_{sf})$$

که در این رابطه Zfs و Zsf به ترتیب نسبت گونه اول و دوم کاشته شده در الگوهای مختلف کشت مخلوط می‌باشد. همچنین شاخص بهره‌وری سیستم نیز محاسبه شدند. برای تعیین شاخص بهره‌روی سیستم (SPI) کشت مخلوط از فرمول زیر استفاده شد (آگگنها و همکاران ۲۰۰۶؛ لیتوریگیدیس و همکاران ۲۰۱۱).

رابطه (۶):

$$SPI = (Sp/Sb) \times (Yp+Yb)$$

در این فرمول Sp عملکرد نخود در تک کشتی، Sb عملکرد کاملینا در تک کشتی، Yp عملکرد نخود در کشت مخلوط و Yb نیز عملکرد کاملینا در کشت مخلوط بود. تجزیه و تحلیل آماری، داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. برای ترسیم شکل‌ها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

اثر شرایط کشت دیم و فاریاب، کود نیتروژن و الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی برای صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه دربوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و دانه در بوته، کاملینا و نخود درصد و عملکرد روغن کاملینا و درصد و عملکرد پروتئین دانه نخود معنی‌دار بود (جدول ۳).

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2026 Elmira Mohammadvand Email: mohammadvand@guilan.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2024.61757.3225

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 36, Issue 1, 2026, Pages 15-37

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی کاملینا و نخود

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		تعداد شاخه در بوته کاملینا	تعداد شاخه در بوته نخود	تعداد دانه در بوته کاملینا	تعداد دانه در بوته نخود	عملکرد دانه در مترمربع کاملینا	عملکرد دانه در مترمربع نخود	درصد روغن دانه کاملینا	درصد پروتئین دانه نخود
تکرار (R)	۲	۰/۷۶۵**	۰/۶۰*	۰/۰۰۵ ns	۳/۴۶ ns	۹۲۵۰۰/۰۹*	۵۶۸۸/۷۱**	۲۰۹۲/۰**	۱۲۰/۳**
کشت فاریاب و دیم (A)	۱	۴۵/۱۷**	۱۷/۲۶**	۰/۰۱۳ ns	۱۲۴۱۰/۵**	۶۹۳۸۲/۹۶ ns	۱۹۵۳۵۲/۹۶**	۱۵۱۷/۲۵**	۴۱۳۱/۴**
خطا (R*A)	۲	۰/۰۰۳	۰/۲۵۸	۰/۰۵۳	۰/۴۰	۸۸۲۲/۰۹	۵۳۶/۴۷	۱۹۶/۰۰	۱۱/۳۳
نیتروژن (B)	۱	۹/۸۰۵**	۱/۶۸**	۰/۰۰۰۱ ns	۳۲۴/۰۲۸*	۱۶۵۳۱/۸۳*	۴۹۵۵/۳۶**	۳۱۶/۲۹*	۱۰۴/۷۸**
نسبت کاشت (C)	۶	۳/۳۷۹**	۳/۴۲**	۰/۴۵۱**	۲۱۱۴/۳۸**	۱۹۲۴۰/۴۱**	۵۹۱۵۶/۹۲**	۴۴۰/۰۱**	۱۲۵۱/۳۷**
کشت× نیتروژن	۱	۲۱/۳۶**	۲/۶۳**	۰/۰۳۹ ns	۱۱۹/۴۸ ns	۲۹/۸۳ ns	۱۵۹۲۷/۲۳**	۴/۲۹ ns	۳۳۶/۸**
کشت× نسبت کاشت	۶	۸/۴۵۳**	۱/۱۶**	۰/۰۵۷ ns	۷۰۱/۸۷**	۷۷۷۶/۵۱**	۵۰۹۱/۷۱**	۱۷۲/۹۷*	۱۰۷/۷۳**
نیتروژن× نسبت کاشت	۶	۰/۶۴۳**	۲/۲۲۷**	۰/۰۲۵ ns	۲۳۷/۶۸**	۲۳۲۷/۲۳ ns	۱۱۳۲۰/۴۶**	۵۱/۶۳ ns	۲۳۹/۴۱**
کشت× نیتروژن× نسبت	۶	۲/۳۳۰**	۰/۹۶۷**	۰/۰۳۵ ns	۲۴۷/۴۷۵**	۷۹۶۸/۴۶**	۴۱۲۰/۶۹**	۱۸۳/۶۸*	۸۷/۱۵**
خطای آزمایشی	۵۲	۰/۰۵۴	۰/۰۸۵	۰/۰۴۹	۶۵/۳۲	۲۳۶۸/۳۱	۲۵۳/۵۸	۵۲/۵۵	۵/۳۶
ضریب تغییرات(٪)	–	۱۰/۳۲	۶/۷۰۴	۶/۷۷	۲۱/۷۷	۱۷/۴۹	۱۱/۸۸	۱۷/۳۳	۱۱/۸۷۷

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

بررسی صفات کمی و کیفی کاملینا و نخود

تعداد شاخه در بوته کاملینا و نخود

در ترکیب تیماری کشت فاریاب با کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص در نسبت‌های کشت ۳:۳، ۲:۲، ۱:۱، ۲:۱ کاملینا به نخود و همچنین در ترکیب تیماری کشت فاریاب با شاهد کود نیتروژن در نسبت کشت ۲:۱ کاملینا به نخود به طور مشترک دارای بیشترین تعداد شاخه در بوته کاملینا بود و با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر ترکیب‌های تیماری در بالاترین مقدار قرار داشت. کمترین تعداد شاخه در بوته کاملینا نیز در ترکیب تیماری شرایط کشت دیم در شاهد کود نیتروژن در نسبت‌های کشت مخلوط ۲:۱ و ۱:۱ کاملینا به نخود (به طور مشترک) مشاهده شد (جدول ۴). مصرف کود نیتروژن در شرایط فاریاب با نسبت و آرایش کشت مخلوط کاملینا با نخود ۲:۱ (۶۶:۳۳) موجب افزایش تعداد شاخه در بوته نخود شد. کمترین تعداد شاخه در بوته نخود نیز مربوط به تیمار کشت دیم در شاهد کودی با نسبت کاشت ۲:۲ (۵۰:۵۰) کاملینا با نخود بود که این ترکیب از نظر آماری با ترکیب‌های تیماری کشت دیم در شاهد کودی با آرایش کاشت ۱:۱، کشت فاریاب با کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و آرایش کشت مخلوط ۱:۱ و تیمار کشت دیم با کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن با آرایش کشت مخلوط ۱:۱ و خالص نخود در گروه یکسان قرار داشت (جدول ۴).

کشت فاریاب با مصرف نیتروژن با دوخط کاشت به نسبت ۶۶ درصد نخود باعث افزایش تعداد شاخه نخود گردید و در شرایط دیم به طور کلی از تعداد این صفت کاسته شد. در مطالعه ای روی کشت مخلوط سیاهدانه و شنبلیله، افزایش رقابت میان گیاهان زراعی، منجربه کاهش تعداد کپسول در بوته شد (مهنی و همکاران ۲۰۲۰). با توجه به اینکه بالاترین اجزای عملکرد (تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول) مربوط به کشت خالص سیاهدانه بود، در کشت خالص که از تعداد ساقه بیشتری برخوردار بود، به‌دلیل تشکیل تعداد نیام بیشتر

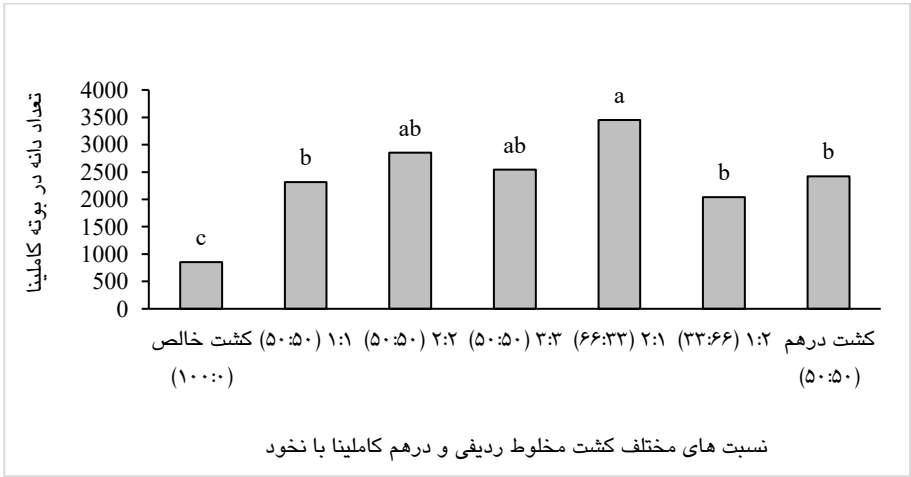
This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2026 Elmira Mohammadvand Email: mohammadvand@guilan.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2024.61757.3225

و درنتیجه تعداد دانه بیشتر در بوته، از میانگین وزن تک دانه و هزاردانه در این تیمار کاسته شد (میرهاشمی و همکاران ۲۰۰۹). نتایج محققان پیترس و ویلسون نشان داد که در تیمار کشت مخلوط، با افزایش تراکم بالنگوی شهری از تعداد شاخه فرعی خرفه کاسته شد، به طورکلی در تراکم‌های پایین، به‌دلیل کمتر بودن رقابت و نیز وجود فضای بیشتر برای توسعه انشعابات بوته، گیاهان با استفاده از منابع موجود مقدار بیشتری شاخه فرعی تولید نمودند، اما با افزایش تراکم گیاهی از تعداد شاخه فرعی کاسته شد (پیترس و ویلسون ۱۹۸۱).

تعداد دانه در بوته کاملینا

بیشترین دانه در بوته کاملینا در مخلوط ۲:۱ کاملینا به نخود (۶۶:۳۳ درصد) به دست آمد و این درحالی بود که این نسبت از نظر آماری با نسبت کشت ۲:۲ و ۳:۳ کاملینا به نخود در گروه یکسانی قرار داشت و کمترین تعداد دانه در بوته کاملینا نیز در کشت خالص آن مشاهده شد (شکل ۱). بیشترین تعداد دانه در بوته نخود نیز در شرایط آبیاری با مصرف ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص و در کشت مخلوط درهم ثبت شد و ترکیب تیماری یکسان و برتر با این تیمار نیز کشت فاریاب با شاهد کودی و ترکیب تیماری ۳:۳ (۵۰:۵۰) کاملینا با نخود بود. کمترین تعداد دانه نیز در کشت دیم در سطح کود شاهد و نسبت کشت مخلوط ۱:۲ (۳۳:۶۶) بود که با کشت دیم با کود ۴۶ کیلوگرم در هکتار و نسبت ۱:۲ (۳۳:۶۶) کاملینا با نخود در یک گروه بود (جدول ۴).

صدرا و حمزه‌ئی (۲۰۲۱) در تحقیق خود گزارش کردند که تعداد دانه در سنبله و نیام تریتیکاله و ماشک گل خوشه‌ای در کشت مخلوط ۵۰:۵۰ نسبت به کشت خالص دارای بیشترین مقدار بود که این امر کاملا مطابق با نتایج این تحقیق می‌باشد. در تیمار کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، به‌دلیل الگوی مناسب کاشت، رقابت بین گونه ای کمتر از رقابت درون گونه‌ای می‌باشد و در نتیجه تمایز نیچ استفاده کارآمدتری از منابع محیطی صورت می‌گیرد و تعداد دانه در سنبله افزایش می‌یابد. در کشت خالص نفوذ نور به داخل کانوپی کم شده و جذب نور توسط اندام‌های فتوسنتز کننده و انتقال آسیمیلات به اندام زایشی کاهش یافته در نتیجه تعداد دانه کمتری تشکیل می‌شود (نخ زری و همکاران ۲۰۱۶). صادق پور و جهان زاده (۲۰۱۲) در بررسی کشت مخلوط یونجه یکساله با جو، گزارش کردند با افزایش تراکم یونجه از تعداد دانه در سنبله جو کاهش یافت که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. در تحقیق انجام شده در کشت مخلوط جو بهاره با ماشک گل خوشه‌ای، کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی افزایش تعداد دانه در سنبله جو را نشان داد (کهراریان و همکاران ۲۰۱۸). دلیل دیگری که برای این امر می‌توان بیان کرد این است که به‌دلیل نبود گیاهان یکسان در ردیف‌های مجاور و کاهش همپوشانی نیچ اکولوژیک است که خود باعث کاهش رقابت بین گونه‌ای بر سر منابع مشترک می‌شود (صدرا و حمزه‌ئی ۲۰۲۱).



*شکل ۱- تاثیر نسبت های مختلف کشت مخلوط ردیفی و درهم کاملینا با نخود برای صفت تعداد دانه در بوته کاملینا

*کشت خالص کاملینا با تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع و کشت مخلوط کاملینا با نخود که به صورت سری‌های جایگزینی کاشته شد. الگوهای کشت مخلوط کاملینا – نخود شامل آرایش های ۱:۱، ۲:۲، ۳:۳ (به نسبت مساوی ۵۰ درصد از تراکم هر دو گیاه)، ۱:۲ (به ترتیب با نسبت ۶۶ و ۳۳ درصد کاملینا به نخود)، ۲:۱ (به ترتیب با نسبت ۳۳ و ۶۶ درصد کاملینا به نخود)) و کشت مخلوط درهم کاملینا با نخود (به نسبت مساوی ۵۰ درصد از هر دو گیاه)

عملکرد دانه کاملینا و نخود

بیشترین عملکرد دانه کاملینا در ترکیب تیماری کشت فاریاب با کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص در نسبت کشت ۳:۳ کاملینا به نخود که با ترکیب تیماری کشت فاریاب با کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص در نسبت کشت ۲:۲ کاملینا به نخود در گروه یکسان و برتر و کمترین عملکرد دانه نیز در ترکیب تیماری شرایط کشت دیم در شاهد کود نیتروژن در کشت درهم کاملینا (۵۰:۵۰) مشاهده شد که باز این ترکیب از نظر آماری با ترکیب تیماری کشت فاریاب با کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص در کشت خالص کاملینا در گروه یکسان قرار داشت (جدول ۴). نتیجه این آزمایش نشان داد که افزایش حدود ۵۸ درصد در بین بالاترین ترکیب تیماری و کمترین ترکیب تیماری کاملینا برای عملکرد دانه مشاهده می‌شود. باتوجه به اینکه شرایط کشت فاریاب به همراه کاربرد کود نیتروژن و استفاده از کشت مخلوط در بیشتر صفات مورد بررسی افزایش داشت، در نتیجه این امر باعث افزایش عملکرد دانه گردید. در شرایط کشت فاریاب و سطح شاهد کودی و در کشت خالص نخود، بالاترین عملکرد دانه نخود حاصل شد به طوری که اختلاف عملکرد بین بالاترین و کمترین عملکرد به‌دست آمده حدود ۹۰ درصد بود. همچنین ترکیب تیماری شرایط کشت فاریاب و سطح شاهد کودی در نسبت کشت مخلوط ۲:۱ (۶۶:۳۳) کاملینا به نخود و کشت دیم با مصرف ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود در نسبت کشت مخلوط ۲:۱ (۶۶:۳۳) کاملینا به نخود نیز از نظر آماری در گروه یکسان و برتر با بالاترین عملکرد قرار داشتند و کمترین عملکرد نخود نیز در ترکیب تیماری کشت دیم در شاهد کودی در نسبت کشت ۱:۲ (۳۳:۶۶) کاملینا به نخود به‌دست آمد که باز این ترکیب تیماری با ترکیب‌های تیماری کشت دیم در شاهد کودی در نسبت کشت ۱:۱ و ترکیب تیماری کشت دیم در کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار کودی در نسبت کشت ۱:۲ (۳۳:۶۶) کاملینا به نخود در گروه مشترک و با ترکیب‌های تیماری کشت دیم در شاهد کودی در نسبت کشت ۲:۲ و کشت مخلوط درهم در گروه کاملا یکسان و پایین قرار داشت (جدول ۴). کشت دیم تاثیر منفی بر عملکرد نخود داشته و باعث کاهش زیادی در عملکرد نخود شد. همچنین باتوجه به اینکه نخود تثبیت کننده نیتروژن می‌باشد به نظر می‌رسد کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود در شرایط آبیاری توانسته به این امر کمک کند (البته در شرایط کشت مخلوط با کاملینا) ولی در کشت خالص، آبیاری بدون اضافه کردن ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود توانسته بهترین عملکرد کل تیمارها را به خود اختصاص دهد. به نظر می‌رسد نخود در کشت مخلوط با کاملینا مغلوب شده ولی در مجموع و باتوجه به شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط افزایش عملکرد گیاه کاملینا این کمبود را جبران کرده و موجب افزایش مزیت کشت مخلوط این دو گیاه نبت به کشت خالص آن شده است.

یکی از دلایل افزایش عملکرد در زراعت مخلوط، وجود الگوهای رشد و رسیدگی متفاوت اجزای مخلوط است، به‌طوریکه رقابت درون‌گونه‌ای در این سیستم کشت کاهش می‌یابد. این کاهش رقابت می‌تواند نتیجه هریک از مکانیسم‌های زیر و یا تأثیر هر دو آن‌ها باشد. مکانیسم اول: ناهمگونی زمانی بین مراحل رشد و نمو ارقام، مکانیسم دوم: ایجاد شرایطی شبیه تراکم بوته کمتر که در پنجه‌زنی و دوره پر شدن دانه مؤثر است (حق‌شناس و همکاران ۲۰۰۹). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که قطع آبیاری پس از گلدهی باعث کاهش معنی‌دار ۵۹ درصدی عملکرد دانه گندم نان نسبت به شرایط آبیاری مطلوب شد (هلیم و همکاران ۲۰۱۸). در آزمایشی، برتی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که نبود بارندگی در دوران گلدهی در کاملینا منجر به کاهش شدید عملکرد شد. عملکرد دانه با افزایش مصرف کود نیتروژن، به دلیل رشد سبزینه‌ای گیاه و افزایش تولید ماده ذخیره‌ای، تعداد شاخه‌های فرعی، افزایش میزان باروری گل‌ها و تعداد کپسول در بوته و واحد سطح افزایش یافت و این نتیجه

به دست آمده با نتایج پژوهش حیدری و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد. به طورکلی عملکرد و اجزای عملکرد دانه کاملینا به کوددهی نیتروژن، زمان کاشت و شرایط آب و هوایی بستگی دارد؛ کاملینا در شرایط آب و هوایی و خاک مختلف پاسخ‌های متفاوتی به مدیریت کود نشان می‌دهد (لکلر و همکاران ۲۰۲۱). زارعی و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند استفاده از کود نیتروژن تا سطح ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن منجر به افزایش عملکرد دانه، عملکرد روغن و برخی اجزای عملکرد کاملینا شد اما اثرگذاری دو سطح ۲۳ و ۶۹ کیلوگرم در هکتار متفاوت بود و برای کسب حداکثر عملکرد دانه و روغن کاملینا بهره‌گیری از کود نیتروژن تا سطح بهینه بااهمیت می‌باشد که این نتیجه کاملا منطبق بر نتایج تحقیق حاضر می‌باشد. ارقام آزمایش شده کاملینا در یک مطالعه در کانادا به افزایش نیتروژن با افزایش ارتفاع بوته، عملکرد دانه، پروتئین دانه و نیتروژن کل گیاه و کاهش محتوای روغن پاسخ دادند (اوربانیاک و همکاران ۲۰۰۸). در مقابل در یک مطالعه دیگری در ایرلند، عملکرد کاملینا به سطوح بالای نیتروژن (۱۲۵ کیلوگرم در هکتار در هکتار) در یکی از دو مکان پاسخ مثبت داد از سوی دیگر، سطوح بالاتر نیتروژن در دومین مکان مورد مطالعه منجر به تشدید بیماری و در نتیجه کاهش عملکرد شد. بنابراین، استفاده بیش از حد از نیتروژن (بیش از ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار در هکتار) در کاملینا به احتمال زیاد مناسب نیست و یکی از مزیت‌های اقتصادی گزارش شده رشد کاملینا کم‌نهاده بودن آن است (کروولی ۱۹۹۹).

درصد روغن دانه کاملینا

بیشترین درصد روغن کاملینا در در ترکیب تیماری کشت فاریاب با سطح شاهد کود نیتروژن در نسبت کشت ۳:۳ کاملینا به نخود که با ترکیب تیماری کشت دیم با سطح شاهد کود نیتروژن در نسبت کشت ۲:۲ کاملینا به نخود در گروه یکسان و برتر و کمترین درصد روغن نیز در ترکیب تیماری شرایط کشت دیم در کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص در کشت درهم کاملینا (۵۰:۵۰) مشاهده شد که باز این ترکیب از نظر آماری با ترکیب تیماری کشت دیم با سطح شاهد کود نیتروژن در کشت خالص کاملینا و ترکیب تیماری کشت فاریاب با کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص در کشت خالص کاملینا در گروه یکسان و پایین قرار داشتند (جدول ۴).

مصرف کود نیتروژن، در شرایط کشت دیم و کشت خالص کاملینا نسبت به کشت مخلوط آن تاثیر منفی بر افزایش درصد روغن کاملینا داشت و این موضوع در تحقیقات مختلف نیز مورد تایید قرار گرفته است به طوری که محققان در ایرلند تأثیر نیتروژن به کار رفته بر عملکرد، محتوای روغن و سطح بیماری‌ها در کاملینا را بررسی کردند. از نتایج این مطالعه دو ساله، نویسندگان استنباط کردند که پاسخ اقتصادی بهینه به کاربرد نیتروژن در ۷۵ کیلوگرم در هکتار در هکتار به دست آمد. در حالی که مشخص شد بروز بیماری کپک خاکستری (*Botrytis cinerea*) با افزایش میزان نیتروژن تشدید شد اما محتوای روغن به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار نگرفت (کروولی و فروهلیچ ۱۹۹۸). نتایج مشابهی از تحقیقات انجام شده در رومانی به دست آمد که در آن سطوح نیتروژن ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در هکتار منجر به افزایش ۵۸ درصدی عملکرد با کاهش جزئی در محتوای روغن شد (بوگناروق و بورکان ۲۰۰۰). در یک مطالعه در غرب هیمالیای کشور هند کاربرد ۱۳/۵ کیلوگرم در هکتار در هکتار نیتروژن عملکرد بذر را ۱۵ درصد و درصد روغن دانه را ۲۷ درصد نسبت به عدم کاربرد نیتروژن افزایش داد؛ درحالی که افزایش نیتروژن از ۱۳/۵ به ۴۱/۴ کیلوگرم در هکتار منجر به کاهش قابل توجه عملکرد دانه و درصد روغن شد (کوماری و همکاران ۲۰۱۵). افزایش در دسترس بودن نیتروژن، باعث ساخت بیشتر پروتئین‌های نیتروژنی می‌شود و پروتئین‌های بیشتری برای ساخت مواد قابل جذب استفاده می‌شوند، بنابراین، مواد مغذی کمتری برای سنتز اسیدهای چرب در دسترس است (برنان و همکاران ۲۰۰۰؛ سلیم و همکاران ۲۰۰۱). در کشور هلند، کاربرد ۳۴ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در هکتار منجر به افزایش عملکرد دانه و درصد پروتئین بذر شد، درحالی که درصد روغن دانه را کاهش داد (زارنیک و همکاران ۲۰۱۷). نتایج واراش و همکاران (۲۰۱۷) در ارزیابی رشد و عملکرد

کاملینا در تیمارهای مختلف آبیاری نشان داد که شاخص سطح برگ، سرعت رشد نسبی، دوام سطح برگ، سرعت اسیمیلاسیون خالص و اجزای عملکرد هنگامی که تنش خشکی در طول دوره رشد اعمال شد، کاهش یافتند. امیری دربان و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که کاملینا پتانسیل تولید عملکرد دانه و روغن مناسب (به ترتیب ۲۴۷۰ و ۸۳۳ کیلوگرم در هکتار در هکتار) را در شرایط کشت در شرایط آبیاری کامل در طول دوره رشد با کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار در هکتار سولفات پتاسیم+ ۷۵ کیلوگرم در هکتار در هکتار سولفات آمونیوم داشت و با قطع آبیاری از مراحل کپسول‌دهی و گلدهی افت شدید عملکرد دانه و روغن دارد. همچنین ایشان گزارش کردند که در شرایط قطع آبیاری، کاهش محتوای نسبی آب برگ و میزان کلروفیل از یک سو و افزایش مقاومت روزنه‌ای و دمای کنوپی از سوی دیگر، اثر منفی بر شرایط رشد بوته‌های کاملینا داشت و عملکرد نهایی آن کاهش یافت. در واقع با کاهش محتوای نسبی آب برگ، روزنه‌های سطح برگ‌ها بسته می‌شود و تعرق کاهش می‌یابد (شهرابی فراهانی و همکاران ۲۰۱۴). امیری دربان و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که عملکرد روغن کاملینا با عملکرد دانه و محتوای روغن همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت به همین دلیل در شرایط قطع آبیاری، با کاهش عملکرد دانه و محتوای روغن، عملکرد روغن کاهش یافت بنابراین در شرایط تنش خشکی عمدتا به دلیل اکسید شدن برخی اسیدهای چرب اشباع نشده کاهش می‌یابد. پاولیستا و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی رشد و عملکرد کاملینا تحت شرایط تیمارهای مختلف کم-آبیاری در غرب نبراسکا گزارش کردند که با کاهش دسترسی گیاه به آب آبیاری، محتوای روغن به‌طوری معنی‌داری کاهش یافت.

درصد پروتئین دانه نخود

صفت درصد پروتئین دانه نخود، از نظر مقایسه میانگین انجام شده کاملا منطبق بر نتایج به دست امده برای عملکرد دانه بود و تغییرات آن همانند عملکرد دانه بود (جدول ۴).

باتوجه به اینکه صفت عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه نخود بر عملکرد دانه تاثیر مستقیم داشت، بنابراین این موضوع باعث شده تا بیشترین مقدار پروتئین دانه نیز در ترکیب تیماری شرایط کشت فاریاب و سطح شاهد کودی و در کشت خالص نخود حاصل شود و این ترکیب تیماری با ترکیب تیماری شرایط کشت دیم و مصرف ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در نسبت کشت مخلوط ۲:۱ (۶۶:۳۳) کاملینا به نخود در گروه یکسان و برتر قرار داشت. کمترین مقدار این صفت نیز به طور مشترک در ترکیب تیماری کشت دیم در شاهد کودی در نسبت کشت ۱:۲ (۳۳:۶۶) کاملینا به نخود و ترکیب تیماری کشت دیم در کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار کودی در نسبت کشت ۱:۲ (۳۳:۶۶) کاملینا به نخود در گروه مشترک وپایین قرار گرفت (جدول ۴). نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق شکری و همکاران (۲۰۲۳) در مورد دانه کتان روغنی مطابقت دارد. افزایش سهم مشارکت گیاه نخود در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط می‌تواند به دلیل برتری در قابلیت تثبیت بیولوژیک نیتروژن باشد. همانطور که اشاره شد قابلیت تثبیت بیولوژیک گیاه لگوم (نخود) در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط (کاملینا – نخود) نقش مهمی در افزایش سهم مشارکت گیاه کاملینا و نخود در مقدار نیتروژن موجود در دانه دارد. طول دوره رشد کوتاه و سرعت رشد بالا در گیاه کاملینا باعث مدیریت بیشتر در اختصاص کربوهیدرات حاصل از مواد فتوسنتزی به بخش‌های مختلف گیاه می‌شود. در نتیجه با افزایش توان رقابتی در گیاه کاملینا در کشت مخلوط مقدار نیتروژن بیشتری به دانه‌ها اختصاص یافته و به دنبال آن درصد و عملکرد پروتئین دانه افزایش می یابد. حیدری و همکاران (۲۰۲۱) گزارش دادند که با مصرف نیتروژن، میزان جذب و محتوای آن در اندام‌هایی هوایی گیاه افزایش می‌یابد که باعث افزایش انتقال مجدد بیشتر نیتروژن در مرحله رسیدگی (در مقایسه با کربوهیدارت-ها) به سمت دانه و در نهایت افزایش محتوای پروتئین دانه می‌شود. جامونت و همکاران (۲۰۱۳) کاهش قابلیت تثبیت بیولوژیک گیاه لگوم در کشت مخلوط را پس از گلدهی گزارش کردند. بطور کلی بهبود قابلیت تثبیت بیولوژیک گیاه لگوم و به دنبال آن افزایش درصد

نیتروژن و پروتئین دانه در کشت مخلوط توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (دیو و همکاران ۲۰۱۹؛ نامداری و همکاران ۲۰۲۲). در این بین اقبال و همکاران (۲۰۱۹) کاهش تثبیت بیولوژیک گیاه لگوم در کشت مخلوط را گزارش کرده و دلیل آن را به سایه‌اندازی گیاه همراه نسبت دادند. در مجموع کشت مخلوط لگوم-غیر لگوم می‌تواند کارایی استفاده از نیتروژن را به علت استفاده گیاه زراعی همراه از نیتروژن معدنی خاک و قابلیت تثبیت بیولوژیک نیتروژن در گیاه لگوم افزایش دهد و باعث تسهیل رقابت بین گونه‌ای شود. بطور کلی درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیک تحت تاثیر برهمکنش بخش زیرزمینی در کشت مخلوط قرار دارد و این امر باعث افزایش درصد نیتروژن و پروتئین دانه در گیاه می‌شود (دیو و همکاران ۲۰۱۹). نامداری و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که افزایش کارایی استفاده از منابع محیطی مانند نور در افزایش میزان ماده خشک و توان فتوسنتزی گیاه لگوم (سویا) پس از مرحله گلدهی در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن-سویا) نقش مهمی در افزایش درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیک در مقایسه با مقادیر قابل انتظار داشته است.

شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط

نسبت برابری زمین (LER)

نسبت برابری زمین در اکثر الگوهای کشت مخلوط و تیمارهای اعمال شده، بیشتر از یک بود که این امر نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط کاملینا با نخود نسبت به کشت خالص هر یک از آن‌ها می‌باشد (جدول ۵). بیشترین مقدار LER معمولی کل (۴/۳۵۹) بود که در ترکیب تیماری شرایط کشت دیم در مصرف ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص در نسبت کشت مخلوط ۲:۱ (۶۶:۳۳) کاملینا به نخود مشاهده شد. همچنین مشاهده شد که بیشترین مقدار LERs استاندار کل (۱/۷۹) نیز به طور مشترک در ترکیب‌های تیماری شرایط کشت دیم در مصرف ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص در نسبت کشت مخلوط ۲:۱ (۶۶:۳۳) کاملینا به نخود و شرایط کشت فاریاب با شاهد کودی و کشت مخلوط درهم (۵۰:۵۰) کاملینا به نخود به‌دست آمد. لازم به ذکر است که کمترین مقدار LER معمولی (۰/۸۹) و LERS استاندارد (۰/۶۶) نیز در ترکیب تیماری شرایط کشت دیم با شاهد کودی در کشت مخلوط درهم (۵۰:۵۰) کاملینا به نخود مشاهده شد.

جدول ۴- برهمکنش سه‌جانبه کشت فاریاب و دیم در نیتروژن در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط کاملینا با نخود

نوع کشت	نیتروژن	نسبت کاشت (کاملینا به نخود)	تعداد شاخه در بوته کاملینا	تعداد شاخه در بوته نخود	تعداد دانه در بوته نخود	عملکرد دانه کاملینا در مترمربع (g)	عملکرد دانه نخود در مترمربع (g)	میزان روغن دانه کاملینا (%)	درصد پروتئین دانه نخود
کشت فاریاب	شاهد (کاربرد ۱۱/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن)	کشت خالص (۱۰۰:۰)	۱/۰۰f	۵/۴cd	۴۴/۲defg	۱۹۳/۶۶ghi	۳۰۷/۴۵a	۳۷/۶۶۷cdefg	۴۴/۷۱a
		۱:۱ (۵۰:۵۰)	۱/۸۷d	۴/۲۵fgh	۳۰/۰hi	۳۰۰/۹۱a...f	۱۰۰/۹۱fg	۵۱/۶۶۷abcde	۱۴/۶۷fg
		۲:۲ (۵۰:۵۰)	۲/۵c	۴/۲۱fgh	۴۸/۲۵drf	۳۵۴/۶۵abc	۱۷۵/۷۰de	۵۲/۰۰abcde	۲۵/۵۵de
		۳:۳ (۵۰:۵۰)	۱/۶de	۴/۹۲de	۷۴/۱۶ab	۳۳۹/۷۴a...f	۱۹۰/۰۶cde	۵۹/۳۳a	۲۷/۶۴cde
		۲:۱ (۶۶:۳۳)	۴/۵a	۴/۹۲de	۵۶/۰۰cd	۲۵۱/۹۲c...i	۲۷۳/۲۴ab	۳۸/۶۶۷bcdef	۳۹/۷۳ab
		۱:۲ (۳۳:۶۶)	۱/۹۲d	۴/۲۵fgh	۲۲/۵۸ijk	۲۵۷/۵۹b...i	۶۴/۵۶hijk	۴۸/۰۰abcde	۹/۳۸hijk
		درهم (۵۰:۵۰)	۱/۶۱de	۶/۰۰b	۶۴/۳۳abc	۳۴۷/۴۳abcd	۲۰۶/۶۹cde	۵۰/۳۳abcde	۳۰/۰۶cde
	کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن	کشت خالص (۱۰۰:۰)	۱/۲۵ef	۴/۲fgh	۴۳/۰۰efg	۲۵۳/۴۰c...i	۲۱۱/۳۷c	۲۹/۰۰fg	۳۰/۷۴c
		۱:۱ (۵۰:۵۰)	۴/۶۶a	۳/۱۷jk	۳۱/۵hij	۳۴۷/۹۶abcd	۷۵/۱۸ghij	۴۵/۳۳abcdef	۱۰/۹۳ghij
		۲:۲ (۵۰:۵۰)	۴/۸۷a	۴/۲۵fgh	۵۰/۰۰de	۳۴۵/۱۶abcde	۱۷۱/۹۹e	۵۳/۳۳abc	۲۵/۰۲e
		۳:۳ (۵۰:۵۰)	۴/۵a	۵/۳۳cd	۶۶/۵abc	۳۹۵/۶۷a	۲۵۳/۶۳b	۵۱/۰۰abcde	۳۶/۸۸b
		۲:۱ (۶۶:۳۳)	۴/۸۷a	۶/۶۳a	۵۶/۰۰cd	۲۵۵/۳۳c...f	۲۶۲/۲۱b	۳۷/۶۶۷cdefg	۳۸/۱۳b
		۱:۲ (۳۳:۶۶)	۳/۷۵b	۴/۳۸efgh	۲۶/۶۶hij	۳۱۸/۰۸a...f	۵۱/۰۴hijk	۳۸/۶۸cdefg	۷/۴۲ijkl
		درهم (۵۰:۵۰)	۲/۹۳c	۵/۵bc	۷۶/۶۶a	۳۳۵/۰۷a...f	۲۰۷/۹۴cd	۵۲/۳۰abcd	۳۰/۲۴cd
کشت دیم	شاهد (کاربرد	کشت خالص (۱۰۰:۰)	۱/۰۰f	۴/۲fgh	۴۳/۸defg	۲۲۵/۵۰d...f	۲۱۳/۲۷c	۲۶/۶۶۷fg	۳۱/۰۲c
		۱:۱ (۵۰:۵۰)	۰/۵۰g	۳/۱jk	۱۴/۲jkl	۲۲۲/۲۷efghi	۲۸/۵۶l	۳۵/۰۰cdefg	۴/۱۵l

۱۱/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن)	(۵۰:۵۰) ۲:۲	۱/۶۶de	۲/۹۳k	۱۵/۴۳jkl	۲۳۳/۹۳c…i	۳۴/۳۹kl	۵۷/۳۰ab	۵/۰۰kl
	(۵۰:۵۰) ۳:۳	۲/۶۶c	۴/۱۵gh	۲۱/۲ijkl	۳۲۴/۷۳a…f	۴۴/۲۱hijk	۳۷/۳۳cdefg	۶/۴۳ijkl
	(۶۶:۳۳) ۲:۱	۰/۵۰g	۳/۸۴hi	۳۰/۱۱hi	۲۶۴/۷۷b…i	۷۹/۱۳ghi	۴۱/۳۳a…f	۱۱/۵۱ghi
	(۳۳:۶۶) ۱:۲	۱/۸d	۳/۵۲ij	۸/۸l	۲۱۶/۵۳fghi	۱۶/۵۹l	۴۰/۰۰b…f	۲/۴۱l
	درهم (۵۰:۵۰)	۳/۶۶b	۳/۳۸ijk	۱۹/۱۲ijkl	۱۶۴/۱۷i	۳۴/۵۳kl	۳۷/۳۳cdefg	۵/۰۲kl
کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن	کشت خالص (۱۰۰:۰)	۱/۶۹de	۳/۲۵jk	۲۰/۵ijkl	۱۷۸/۹۷hi	۱۲۰/۰۵f	۳۴/۰۰defg	۱۷/۴۶f
	(۵۰:۵۰) ۱:۱	۱/۰۰f	۳/۱۷jk	۱۴/۶۶jkl	۲۳۴/۵۳c…i	۴۰/۴۸hijk	۳۳/۳۳efg	۵/۸۸jkl
	(۵۰:۵۰) ۲:۲	۱/۰۰f	۵/۳۳cd	۲۰/۰۰ijkl	۳۷۹/۹۴ab	۷۴/۱۶ghij	۳۵/۰۰cdefg	۱۰/۷۸ghij
	(۵۰:۵۰) ۳:۳	۱/۰۰f	۴/۱۱gh	۳۷/۰۰fgh	۲۴۹/۰۲c…i	۱۱۵/۳۱f	۴۹/۰۰abcde	۱۶/۷۷f
	(۶۶:۳۳) ۲:۱	۱/۰۰f	۴/۷۲ef	۶۳/۰۰bc	۲۸۱/a…i۵۸	۲۸۵/۲۳ab	۳۹/۶۶۷b…g	۴۱/۴۸ab
	(۳۳:۶۶) ۱:۲	۱/۰۰f	۴/۵efg	۱۳/۲۵kl	۲۶۶/۷۰b…i	۲۲/۴۸l	۳۵/۳۳cdefg	۳/۲۶l
	درهم (۵۰:۵۰)	۲/۸۳c	۴/۵efg	۲۸/۴۴hi	۲۴۹/۲۲c…i	۹۳/۲۸fgh	۲۴/۶۶۷g	۱۳/۵۶fgh

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون ال‌اس‌دی در سطح احتمال ۵ درصد است.

*عامل نیتروژن شامل: ۱- شاهد (۱۱/۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار معادل ۲۵ کیلوگرم کود اوره به صورت استارتر و یکسان برای کلیه تیمارها) و ۲- ۴۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار معادل ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره (مصرف ۳۴/۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار معادل ۷۵ کیلوگرم کود اوره + ۱۱/۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار معادل ۲۵ کیلوگرم کود اوره) بود. نیمی از نیتروژن در زمان کاشت مصرف شده و با خاک مخلوط شد و نیم دیگر طی دو مرحله فنولوژی ابتدای ساقه‌دهی و ابتدای ظهور خورجینک‌های کاملینا، قبل از آبیاری و یا بارندگی در سطح کرت‌های آزمایشی پخش شد. کشت خالص کاملینا با تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع و کشت مخلوط کاملینا با نخود که به صورت سری‌های جایگزینی کاشته شد. الگوهای کشت مخلوط کاملینا – نخود شامل آرایش های ۱:۱، ۲:۲، ۳:۳ (به نسبت مساوی ۵۰ درصد از تراکم هر دو گیاه)، ۱:۲ (به ترتیب با نسبت ۶۶ و ۳۳ درصد کاملینا به نخود)، ۲:۱ (به ترتیب با نسبت ۳۳ و ۶۶ درصد کاملینا به نخود)) و کشت مخلوط درهم کاملینا با نخود (به نسبت مساوی ۵۰ درصد از هر دو گیاه).

جدول ۵- مقادیر نسبت برابری زمین LER معمولی و LER استاندارد و شاخص بهره‌وری سیستم (SPI)*

کشت فاریاب و دیم	نیتروژن	نسبت کاشت (کاملینا به نخود)	LER معمولی			LER استاندارد			SPI
			کاملینا	نخود	کل	کاملینا	نخود	کل	
کشت فاریاب	شاهد (کاربرد ۱۱/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن)	کشت خالص (۱۰۰:۰)	–	–	–	–	–	–	–
		(۵۰:۵۰) ۱:۱	۱/۵۸	۰/۳۲	۱/۹۱	۱/۰۲	۰/۲۹	۱/۳۲	۷۳۹/۶۳
		(۵۰:۵۰) ۲:۲	۱/۸۷	۰/۵۷	۲/۴۴	۱/۲۱	۰/۵۱	۱/۷۲	۹۰۸/۱۷
		(۵۰:۵۰) ۳:۳	۱/۷۹	۰/۶۲	۲/۴۱	۱/۱۶	۰/۵۵	۱/۷۱	۸۸۲/۰۸
		(۶۶:۳۳) ۲:۱	۱/۲۴	۰/۸۹	۲/۱۳	۰/۸۶	۰/۷۹	۱/۶۵	۷۳۲/۰۱
		(۳۳:۶۶) ۱:۲	۱/۳۴	۰/۲۱	۱/۵۵	۰/۸۷۷	۰/۱۸۸	۱/۰۶	۶۱۷/۶۳
		درهم (۵۰:۵۰)	۱/۸۳	۰/۶۷	۲/۵۱	۱/۱۸	۰/۶۰۲	۱/۷۹	۹۰۹/۸۵
	کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن	کشت خالص (۱۰۰:۰)	–	–	–	–	–	–	–
		(۵۰:۵۰) ۱:۱	۱/۳۶	۰/۳۵	۱/۷۲	۱/۱۹	۰/۲۱۹	۱/۴۰	۸۰۳/۵۷
		(۵۰:۵۰) ۲:۲	۱/۳۶	۰/۸۲	۲/۱۸	۱/۱۸	۰/۵۰۱	۱/۶۸	۹۱۴/۴۰
		(۵۰:۵۰) ۳:۳	۱/۵۶	۱/۲۱	۲/۷۷	۱/۳۵	۰/۷۴	۲/۰۹	۱۱۱۶/۹۹
		(۶۶:۳۳) ۲:۱	۰/۹۷	۱/۲۴	۲/۲۲	۰/۸۷	۰/۷۶	۱/۶۳	۸۳۸/۶۴
		(۳۳:۶۶) ۱:۲	۱/۲۵	۰/۲۴	۱/۴۹	۱/۰۸	۰/۱۴۸	۱/۲۳	۷۱۲/۶۰
		درهم (۵۰:۵۰)	۱/۳۲	۰/۹۹	۲/۳۲	۱/۱۴	۰/۶۰۶	۱/۷۵	۹۳۵/۹۹
کشت دیم	شاهد (کاربرد ۱۱/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن)	کشت خالص (۱۰۰:۰)	–	–	–	–	–	–	–
		(۵۰:۵۰) ۱:۱	۰/۹۸	۰/۱۴	۱/۱۳	۰/۷۶	۰/۰۸۳	۰/۸۴	۴۸۲/۳۴
		(۵۰:۵۰) ۲:۲	۱/۰۴	۰/۱۷	۱/۲۱	۰/۷۹	۰/۱۰۰	۰/۸۹	۵۱۲/۶۲
		(۵۰:۵۰) ۳:۳	۱/۴۴	۰/۲۱	۱/۶۵	۱/۱۱	۰/۱۲۸	۱/۲۳	۷۰۶/۷۵
		(۶۶:۳۳) ۲:۱	۱/۱۷	۰/۳۷	۱/۵۴	۰/۹۰	۰/۲۳	۱/۱۳	۶۱۹/۱۷
		(۳۳:۶۶) ۱:۲	۰/۹۶	۰/۰۸۵	۱/۰۴	۰/۷۳۸	۰/۰۴۸	۰/۷۸	۴۵۹/۹۳
		درهم (۵۰:۵۰)	۰/۷۳	۰/۱۶۷	۰/۸۹	۰/۵۵۹	۰/۱۰۰۶	۰/۶۶	۳۷۳/۵۳
	کاربرد ۴۶ کیلوگرم در	کشت خالص (۱۰۰:۰)	–	–	–	–	–	–	–
		(۵۰:۵۰) ۱:۱	۱/۵۱	۰/۳۷	۱/۸۸	۰/۷۹۹	۰/۱۱۸	۰/۹۲	۵۶۲/۱۹

هکتار	۲:۲ (۵۰:۵۰)	۲/۴۲	۰/۶۳	۳/۰۵۷	۱/۲۹	۰/۲۱۶	۱/۵۱	۹۲۸/۴۸
نیتروژن	۳:۳ (۵۰:۵۰)	۱/۶	۰/۹۹	۲/۵۹	۰/۸۵	۰/۳۳۶	۱/۱۸	۷۰۴/۶۶
	۲:۱ (۶۶:۳۳)	۱/۸۷	۲/۴۹	۴/۳۵۹	۰/۹۶	۰/۸۳	۱/۷۹	۱۰۱۱/۲۳
	۱:۲ (۳۳:۶۶)	۱/۶۵	۰/۲۰۱	۱/۸۵	۰/۹۱	۰/۰۶	۰/۹۷	۶۱۳/۵۵
	درهم (۵۰:۵۰)	۱/۵۶	۰/۸۰۲	۲/۳۷	۰/۸۵	۰/۲۷۱	۱/۱۲	۶۷۷/۱۹

*عامل نیتروژن شامل: ۱- شاهد (۱۱/۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار معادل ۲۵ کیلوگرم کود اوره به صورت استارتر و یکسان برای کلیه تیمارها) و ۲- ۴۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار معادل ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره (مصرف ۳۴/۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار معادل ۷۵ کیلوگرم کود اوره + ۱۱/۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار معادل ۲۵ کیلوگرم کود اوره) بود. نیمی از نیتروژن در زمان کاشت مصرف شده و با خاک مخلوط شد و نیم دیگر طی دو مرحله فنولوژی ابتدای ساقه‌دهی و ابتدای ظهور خورچینک‌های کاملینا، قبل از آبیاری و یا بارندگی در سطح کرت‌های آزمایشی پخش شد. کشت خالص کاملینا با تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع و کشت مخلوط کاملینا با نخود که به صورت سری‌های جایگزینی کاشته شد. الگوهای کشت مخلوط کاملینا – نخود شامل آرایش های ۱:۱، ۲:۲، ۳:۳ (به نسبت مساوی ۵۰ درصد از تراکم هر دو گیاه)، ۱:۲ (به ترتیب با نسبت ۶۶ و ۳۳ درصد کاملینا به نخود)، ۲:۱ (به ترتیب با نسبت ۳۳ و ۶۶ درصد کاملینا به نخود)) و کشت مخلوط درهم کاملینا با نخود (به نسبت مساوی ۵۰ درصد از هر دو گیاه).

براساس نتایج به‌دست آمده چنین می‌توان برداشت کرد که کاملینا گیاه غالب بوده و از کشت مخلوط با نخود اثر مثبت گرفته است به عبارت دیگر، نخود محیط را به نفع رشد کاملینا تغییر داده است. نسبت برابری زمین کل در اکثر الگوهای زراعت مخلوط بیشتر از یک بود که نشان از برتری این الگوهای کشت براسا کارآیی استفاده از زمین می‌باشد (بیلماز و همکاران ۲۰۱۵). در تحقیق دیگری مشاهده شد که در کشت مخلوط زیره سبز و عدس، نسبت برابری زمین جزئی زیره سبز نسبت به عدس بالاتر بود به طوری‌که بالاترین LER جزئی عدس (۰/۸۴) و زیره سبز (۰/۹۵) از تیمار کشت مخلوط ردیفی به‌دست آمد (رضائی چیانه و همکاران ۲۰۱۵). استفاده مطلوب از منابع محیطی، تبادل مواد غذایی، افزایش توانایی رقابتی در کنترل علف‌های هرز، تثبیت نیتروژن، وجود اختلاف در سیستم ریشه‌ای اجزای مخلوط و جذب بیشتر تشعشع دلیل افزایش LER در کشت مخلوط می‌باشد (بانیک و همکاران ۲۰۰۶). امانی ماچیانی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند در کلیه الگوهای کشت مخلوط نعناع فلفلی و سویا نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود. محققان در کشت مخلوط زیره سبز و شنبلیله (رضوانی مقدم و مرادی ۲۰۱۲) زنیان واسفرزه (موسی‌پور و همکاران ۲۰۱۵)، نخود و سیاهدانه (رضایی چیانه و قلی‌نژاد ۲۰۱۵) بالنگوی شهری و نخود (نیکدل و همکارن ۲۰۲۳) مقدار نسبت برابری زمین را در تمام تیمارهای مخلوط بالاتر از یک گزارش کردند به طوری که بیشترین مقدار LER معمولی کل (۴/۱۸) در فصل پاییز و در نسبت کاشت (۱۰۰:۷۵) در رقم آنا (نخود) مشاهده گردید. همچنین بیشترین مقدار LERs استاندارد در فصل بهار و در نسبت کاشت (۱۰۰:۲۵) در رقم نخود نصرت (۳/۰۸) مشاهده شد که این امر نشان دهنده برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است. باباخانی و همکاران (۲۰۲۲) نیز در بررسی کشت مخلوط شنبلیله و شوید، اظهار داشتند که عملکرد کلی سیستم زراعی را می‌توان از نظر LER (۲/۲۹) بهینه‌سازی کرد و بر این اساس، می‌توان این دو گیاه را بدون افت عملکرد و با ترکیب مناسب، کشت کرد.

بهره‌وری سیستم (SP)

شاخص دیگری که بهره‌وری و کارایی سیستم کشت مخلوط را مشخص می‌کند، شاخص بهره‌وری سیستم (SPI) می‌باشد. بالاتر بودن این شاخص بیانگر افزایش کارایی سیستم مخلوط است. براساس جدول (۵) شاخص بهره‌وری سیستم در تمامی الگوهای کشت مخلوط مثبت می‌باشد، که این نشان دهنده سودمندی کشت مخلوط می‌باشد. بیشترین میزان شاخص بهره‌وری سیستم مربوط به ترکیب تیماری شرایط کشت فاریاب در مصرف ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص در نسبت کشت مخلوط ۳:۳ کاملینا به نخود (۱۱۱۶/۹۹) مشاهده شد. نصیری محلاتی و همکاران (۲۰۱۴) نتیجه گرفتند بیشترین میزان SPI در نسبت ۲:۲ ذرت با لوبیا حاصل شد. لامعی هروانی (۲۰۱۳) در بررسی عملکرد و شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای یکساله با جو اعلام کرد که بیشترین مقدار شاخص بهره‌وری سیستم با ۲/۹۲ متعلق به تیمار کشت مخلوط جایگزین ۷۵ درصد نخود علوفه‌ای و ۲۵ درصد جو بود. همچنین نیکدل و همکاران (۲۰۲۳) نیز در بررسی کشت

مخلوط بالنگوی شهری و نخود بیشترین میزان شاخص بهره‌وری سیستم با ۴۷۱۳/۰۲، مربوط به الگوی کشت (۱۰۰:۷۵) بود.

نسبت رقابت (CR) و کاهش یا افزایش عملکرد واقعی (AYL)

بر اساس نتایج به‌دست آمده در جدول (۶) مشاهده شد که نسبت رقابت در گیاه کاملینا در ترکیب تیماری شرایط کشت دیم با شاهد کودی در نسبت کشت مخلوط ۱:۲ (۳۳:۶۶)، ۱:۱، ۳:۳، ۲:۲ و ۲:۱ به ترتیب بالاترین مقدار را به خود اختصاص دادند و در مجموع نیز به صورت میانگین از کلیه تیمارهای مورد مطالعه، بیشتر بودند و بالاترین رقابت برای این تیمارها ثبت شد. بنا بر گزارش ویلی و رائو (۱۹۸۰) شاخص نسبت رقابت معیار مناسب‌تری برای ارزیابی توانایی رقابتی اجزای کشت مخلوط است و در مقایسه با شاخص‌های دیگر مانند شاخص غالبیت (A) و ضریب تراکم نسبی (K) دقت بیشتری در ارزیابی رقابت دارد. کمتر بودن نسبت رقابت به این معنی است که آن گونه می‌تواند با گونه دیگر به صورت مخلوط کشت شود. ولی اگر نسبت رقابت گونه‌ای بیشتر از ۲ باشد، مفهوم آن این است که آن گونه در کشت مخلوط از غالبیت برخوردار است (ویلی ۱۹۷۹).

شاخص کاهش یا افزایش عملکرد واقعی (AYL) علاوه بر بررسی رقابت بین گونه‌ای، با در نظر گرفتن عملکرد هر گیاه، وضعیت هر گونه در مخلوط و رقابت درون گونه‌ای را با جزئیات دقیق‌تری بیان می‌کند. طبق جدول (۶) مشاهده شد که عملکرد واقعی نسبت‌های کشت شده در کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن افزایش داشته که نشان‌دهنده مزیت کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است. ولی گیاه نخود در اکثر ترکیب‌های تیماری مورد مطالعه در کشت مخلوط با کاهش عملکرد مواجه شد. میزان این شاخص در عملکرد کل افزایش را نشان داد که نشان از جبران عملکرد توسط گیاه همراه در کشت مخلوط (کاملینا) می‌باشد. همچنین مشاهده شد که بیشترین افزایش عملکرد واقعی کل در ترکیب تیماری کشت دیم در کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در نسبت کشت مخلوط ۱:۲ (۳۳:۶۶) کاملینا به نخود (۱۴/۹۸) ثبت شده است. همچنین در ترکیب تیماری شرایط کشت دیم با شاهد کودی در نسبت کشت مخلوط ۱:۲ (۳۳:۶۶)، نیز کاهش عملکرد کل مشاهده شد. این کاهش عملکرد احتمالا ناشی از افزایش رقابت برون گونه‌ای و کاهش اثرات تسهیل و تکمیل کنندگی دو گونه در این تیمارها می‌باشد (نیکدل و همکارن ۲۰۲۳). این ترکیب تیماری برای LER معمولی نخود نیز کمترین مقدار را به خود اختصاص داده بود و شاید یکی از دلایل کم بودن این صفت نیز مربوط به این شاخص باشد. اقبال و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که AYL مثبت بیانگر آن است که محصول واقعی گیاهان در کشت مخلوط بیشتر از محصول پیش بینی شده بوده و از عوامل محیطی رشد استفاده بیشتری کرده‌اند و منفی بودن AYL عدم سودمندی کشت مخلوط را نشان می‌دهد. در بررسی کشت مخلوط ذرت با لوبیای چشم بلبلی و لوبیای معمولی، گزارش شده است که با کاهش سهم ذرت در کشت مخلوط، شاخص کاهش عملکرد واقعی ذرت افزایش می‌یابد (یلماز و همکاران ۲۰۰۸). دلیل این افزایش، قابلیت تثبیت نیتروژن توسط لگوم‌ها در کشت مخلوط ذکر شده است. در کشت مخلوط نخود فرنگی با برخی از غلات، شاخص کاهش عملکرد واقعی کل در تمام تیمارها مثبت بوده و بر اساس این شاخص در کشت مخلوط این گیاهان، ۲ تا ۲۳ درصد افزایش عملکرد نسبت به تک کشتی گزارش شده است (لیتوریگیدیس و همکاران ۲۰۱۱).

جدول ۶- شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط کاملینا و نخود

کشت فاریاب و دیم	نیتروژن	نسبت کاشت (کاملینا به نخود)	CR		AYL		
			کاملینا	نخود	کاملینا	نخود	کل
کشت فاریاب	شاهد (کاربرد ۱۱/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن)	کشت خالص (۱۰۰:۰)	–	–	–	–	–
		۱:۱ (۵۰:۵۰)	۴/۸۸	۰/۲۱	۲/۸۲	-۰/۳۵	۲/۴۷
		۲:۲ (۵۰:۵۰)	۳/۲۶	۰/۳۱	۳/۸۸	۰/۱۴	۴/۰۳
		۳:۳ (۵۰:۵۰)	۲/۸۸	۰/۳۵	۳/۸۲	۰/۲۳	۴/۰۶
		۲:۱ (۶۶:۳۳)	۲/۷۷	۰/۴۲	۵/۴۵	۰/۳۵	۵/۸۰
		۱:۲ (۳۳:۶۶)	۳/۲۴	۰/۳۲	۱/۳۴	-۰/۳۶	۰/۹۸
		درهم (۵۰:۵۰)	۲/۷۱	۰/۳۷	۴/۰۱	۰/۳۴	۴/۳۵
	کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن	کشت خالص (۱۰۰:۰)	–	–	–	–	–
		۱:۱ (۵۰:۵۰)	۳/۹۹	۰/۲۸	۲/۴۳	-۰/۲۹	۲/۱۴
		۲:۲ (۵۰:۵۰)	۱/۶۶	۰/۶۰	۳/۳۶	۰/۶۳	۴/۰۰
		۳:۳ (۵۰:۵۰)	۱/۲۷	۰/۸۱	۴/۵۴	۱/۴۳	۵/۹۸
		۲:۱ (۶۶:۳۳)	۱/۶۱	۰/۷۶	۵/۷۳	۰/۸۹	۶/۶۲
		۱:۲ (۳۳:۶۶)	۲/۶۲	۰/۳۸	۱/۲۶	-۰/۲۷	۰/۹۸
		درهم (۵۰:۵۰)	۱/۳۴	۰/۷۴	۳/۶۳	۰/۹۸	۴/۶۲
کشت دیم	شاهد (کاربرد ۱۱/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن)	کشت خالص (۱۰۰:۰)	–	–	–	–	–
		۱:۱ (۵۰:۵۰)	۸/۷۰	۰/۱۴۸	۱/۲۵	-۰/۷۱	۰/۵۴
		۲:۲ (۵۰:۵۰)	۷/۰۹	۰/۱۷	۱/۴۱	-۰/۶۶	۰/۷۵
		۳:۳ (۵۰:۵۰)	۷/۷۸	۰/۱۵	۲/۲۹	-۰/۵۸	۱/۷۱
		۲:۱ (۶۶:۳۳)	۶/۸۱	۰/۲۰۴	۳/۶۸	-۰/۴۳	۳/۲۵
		۱:۲ (۳۳:۶۶)	۱۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۵۸	-۰/۷۴	-۰/۱۵
		درهم (۵۰:۵۰)	۴/۷۴	۰/۲۴	۰/۷۹	-۰/۶۶	۰/۱۲۴
	کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن	کشت خالص (۱۰۰:۰)	–	–	–	–	–
		۱:۱ (۵۰:۵۰)	۴/۱۶	۰/۲۵	۲/۷۶	-۰/۲۵	۲/۵۱
		۲:۲ (۵۰:۵۰)	۳/۷۱	۰/۲۸	۵/۱۱	۰/۲۶	۵/۳۷
		۳:۳ (۵۰:۵۰)	۱/۵۵	۰/۷۱	۴/۱۸	۰/۹۸	۵/۱۷
		۲:۱ (۶۶:۳۳)	۱/۴۳	۱/۰۱	۱۲/۲۱	۲/۷۷	۱۴/۹۸
		۱:۲ (۳۳:۶۶)	۴/۴۱	۰/۲۵۷	۱/۸۰	-۰/۳۹	۱/۴۱
		درهم (۵۰:۵۰)	۱/۸۹	۰/۵۴	۳/۷۳	۰/۶۰	۴/۳۴

*عامل نیتروژن شامل: ۱- شاهد (۱۱/۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار معادل ۲۵ کیلوگرم کود اوره به صورت استارتر و یکسان برای کلیه تیمارها) و ۲- ۴۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار معادل ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره (مصرف ۳۴/۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار معادل ۷۵ کیلوگرم کود اوره + ۱۱/۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار معادل ۲۵ کیلوگرم کود اوره) بود. نیمی از نیتروژن در زمان کاشت مصرف شده و با خاک مخلوط شد و نیم دیگر طی دو مرحله فنولوژی ابتدای ساقه‌دهی و ابتدای ظهور خورجینک‌های کاملینا، قبل از آبیاری و یا بارندگی در سطح کرت‌های آزمایشی پخش شد. کشت خالص کاملینا با تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع و کشت مخلوط کاملینا با نخود که به صورت سری‌های جایگزینی کاشته شد. الگوهای کشت مخلوط کاملینا – نخود شامل آرایش های ۱:۱، ۲:۲، ۳:۳ (به نسبت مساوی ۵۰ درصد از تراکم هر دو گیاه)، ۱:۲ (به ترتیب با نسبت ۶۶ و ۳۳ درصد کاملینا به نخود)، ۲:۱ (به ترتیب با نسبت ۳۳ و ۶۶ درصد کاملینا به نخود)) و کشت مخلوط درهم کاملینا با نخود (به نسبت مساوی ۵۰ درصد از هر دو گیاه).

نتیجه‌گیری کلی

به طورکلی مشاهده شد که با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق و همچنین وجود تغییرات اقلیمی جهانی آب و هوا و کمبود آب برای رشد و نمو محصولات زراعی باعث شده است تا در جهت تحقق اهداف کشاورزی پایدار، استفاده از گونه‌های گیاهی مناسب برای کشت دیم و همچنین استفاده محدود از مواد و کودهای شیمیایی در مناطق مختلف در اولویت قرار گرفته است. بنابراین می توان اظهار داشت که کشت مخلوط دانه ی روغنی کاملینا به صورت مخلوط با گیاه نخود به صورت جایگزینی به نسبت ۳:۳ و ۲:۲ (۵۰:۵۰) با شرایط اقلیمی این تحقیق و همچنین، ترکیب تیماری کشت فاریاب با

کاربرد ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص می‌تواند برای کشت در منطقه پیشنهاد شود. همچنین عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان مورد مطالعه بجز کشت خالص تحت تاثیر نسبت های مختلف کشت مخلوط قرار گرفتند. با توجه به اینکه میزان LER در کشت مخلوط بالاتر از یک بود که نشان دهنده ی سودمندی کشت مخلوط می‌باشد. همچنین ایجاد شرایط مناسب برای افزایش قابلیت تثبیت بیولوژیک نیتروژن گیاه لگوم (نخود)، نکته کلیدی در پویایی تعامل بین گونه‌ای در کشت مخلوط می‌باشد لذا توجه به گیاه کشت شده در زراعت مخلوط، خصوصیات فیزیولوژیک، قابلیت رقابت و الگوی مناسب در کشت مخلوط می‌تواند در این زمینه بسیار مناسب باشد. بنابراین می‌توان اظهار داشت که با بکار گرفتن نسبت‌های صحیح کشت برای گیاهان در زراعت مخلوط بتوان عملکردها و خصوصیات کمی و کیفی گیاهان را بهبود بخشید.

سپاسگزاری

بدین وسیله نگارندگان وظیفه خود می‌دانند مراتب سپاس و قدردانی خود را از مساعدت‌های صمیمانه و خالصانه یکایک همکاران ارجمند (دانشگاه محقق اردبیلی و دانشگاه گیلان) در اجرای این طرح در بخش‌های مختلف مزرعه‌ای و آزمایشگاهی اعلام دارند.

منابع مورد استفاده

A.O.A.C. 1980. Official Methods of Analysis, (13th Ed.) Association of Official Analytical Chemists. Washington D.C. 376-384.

Agegnehu G, Ghizaw A, Sinebo W. 2006. Yield performance and land use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ettiopian highlands. European Journal of Agronomy, 25: 202-207. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.002

Amani Machiani M, Javanmard A, Morshedloo MR and Maggi F. 2018. Evaluation of competition, essential oil quality and quantity of peppermint intercropped with soybean. Industrial Crops and Products, 111:743-754. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.052

Amiri Darban N, Noormohammadi Q, Shirani Rad AH, Mirhadi SMJ, Majidi A. 2022. Investigating the physiological response and yield of Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) seed and oil to the application of ammonium sulfate and potassium sulfate under drought stress at the end of the season. Sciences of agricultural plants of Iran. 52(4): 87-99. DOI: 10.22059/IJFCS.2020.308214.654746.

Amiri-Darban N, Nourmohammadi G, Shirani Rad AH, Mirhadi SMJ & Majidi Heravan I. 2020. Investigating the Effect of Ammonium Sulfate and Potassium Sulfate Application on seed and Oil Yields of Camelina (*Camelina sativa* L.) under Late-Season Drought Stress. Journal Agricultural Sciences and Sustainable Production, 30(2): 239-251. DOI: 20.1001.1.24764310.1399.30.2.15.8 (In Persian with English Abstract).

Amirmardfar A, Dabbagh Mohammadi Nasab A, Raei Y, Khaghaninia S, Amini R, Tabataba Vakili S. 2015. Evaluation of yield and yield components of oil seed rape in the wheat-oil seed rape strip intercropping influenced by chemical and biological fertilizers. Journal of Crop Ecophysiology, 8(4): 437-450. SID.https://sid.ir/paper/182804/fa (In Persian with English Abstract).

Babakhani V, Tohidi-Nejad E, Khajoei-Nejad G & Ghanbari J. 2022. Biomass Production and Nitrogen Use Efficiency in Dill-Fenugreek Intercropping in Response to Biofertilizers and Manure. Journal Agricultural Sciences and Sustainable Production, 32(4): 1-18. DOI: 10.22034/SAPS.2022.48673.2759 (In Persian with English Abstract).

Banik P, Midya A, Sarkar BK and Ghose SS. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. Europian Journal of Agronomy 24: 325-332. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.010

Berti M, Wilckens R, Fischer S, Solis A, Johnson B. 2011. Seeding date influence on camelina seed yield, yield components, and oil content in Chile. Ind. Crops Prod. 34(2): 1358–1365. Doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.008

Czarnik M, Jarecki W, Bobrecka-Jamro D. 2017. The effects of varied plant density and nitrogen fertilization on quantity and quality yield of camelina sativa L. Emirates Journal of Food and Agriculture 29 (12): 988-993. DOI: 10.9755/ejfa.2017.v29.i12.1569

Borghi E, Crusciol CAC, Nascente AS, Sousa VV and Martins PO. 2013. Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. European Journal of Agronomy, 51:130-139. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.08.006

Brennan RF, Mason MG and Walton GH. 2000. Effect of nitrogen fertilizer on the concentration of oil and protein in Canola (*Brassica napus*) seed. J. Plt. Nut. 23(3): 339-348. DOI: 10.1080/01904160009382020

Bugnarug, C and Borcean I. 2000. A study on the effect of fertilizers on the crop and oil content of Camelina sativa L. Lucrari Stiintifice – Agricultura, Universitatea de Stiinte Agricole si medicina Veterinara a Banatului Timisoara (Banat's University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine) 32, 541–544.

Chaturvedi S, Bhattacharya A, Khare SK, Kaushik G. 2018. *Camelina sativa*: An Emerging Biofuel Crop, in: Hussain, C.M. (Ed.), Handbook of Environmental Materials Management. Springer International Publishing, Cham, pp. 1–38. Doi.org/10.1007/978-3-319-58538-3_110-1

Crowley JG and Frohlich A. 1998. Factors affecting the composition and use of camelina. Teagasc publication 1 901138 66 6. Crops Research Centre, Oak Park, Carlow, Ireland. http://hdl.handle.net/11019/1481

Crowley JG. 1999. Evaluation of camelina sativa as an alternative oilseed crop. Teagasc publication 1 84170 049 5. Crops Research Centre, Oak Park, Carlow, Ireland. http://hdl.handle.net/11019/1445

Dabbagh Mohammadi Nassab A, Amini R & Tamari E. 2015. Evaluation of Maize (*Zea mays* L.) and Three Cultivars of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Intercropping with Application of Biofertilizers and Chemical Fertilizers. Journal Agricultural Sciences and Sustainable Production, *25*(1): 99-113.

Du Q, Zhou L, Chen P, liu X, Song C, Yang F, Wang X, Liu W, Sun X, Du J, Liu J, Shu K, Yang W and Yong T. 2019. Relay-intercropping soybean with maize maintains soil fertility and increases nitrogen recovery efficiency by reducing nitrogen input. The Crop Journal, 8(1): 140-152. https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.06.010

Fang X, Turner NC, Yan G, Li F & Siddique KHM. 2010. Flower numbers, pod production, pollen viability and pistil function are reduced and flower and pod abortion increased in Chickpea under terminal drought. Journal of Experimental Botany. 61: 335-345. DOI: 10.1093/jxb/erp307

FAOSTAT. 2020. Countries by commodity". Food and Agriculture Organization, United Nations.

Gesch RW, Cermak SC. 2011. Sowing date and tillage effects on fall-seeded camelina in the northern corn belt. Agronomy journal, 103(4): 980-987. https://doi.org/10.2134/agronj2010.0485

Glaze-Corcoran S, Hashemi Sadeghpour M, Jahanzad A, Keshavarz Afshar E, Liu R, Herbert XSJ. 2020. Understanding intercropping to improve agricultural resiliency and environmental sustainability. Adv. Agron. 199–256. Doi.org/ 10.1016/bs.agron.2020.02.004. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.004

Haghshenas A. 2009. Evaluation of competition in mixed cropping for two winter wheat cultivars under two moisture conditions. M.Sc. thesis, Faculty of Agriculture, Shiraz Universty, Iran. (In Persian with English Abstract).

Halim Q, Emam Y, Shakeri A. 2018. Evaluation of yield, yield components and stress tolerance indices in bread wheat cultivars under conditions Interruption of irrigation after flowering. Journal of Crop Production and Processing. 4, 121-134. DOI:10.29252/jcpp.7.4.121 (In Persian with English Abstract).

Heydari R, Movahhedi Dehnavi M, Yadavi A and Khoshroo A. 2021. Interaction of nitrogen and density on yield, nutrients content and nitrogen use efficiency in linseed (*Linum usitatisimum* L.). Iranian Journal of Field Crop Science, 51(2): 159-170. DOI:10.22059/ijfcs.2019.273440.654569

Igbal MA, Hamid A, Hussain I, Siddiqui MH, Ahmad T, Khaliq A and Ahmad Z. 2019. Competitive indices in cereal and legume mixtures in a south Asian environment, Agronomy Journal. 111 (1): 242-249. https://doi.org/10.2134/agronj2017.11.0658

Iverson AL, Marín LE, Ennis KK, Gonthier DJ, Connor-Barrie BT, Remfert JL, Cardinale BJ, Perfecto I. 2014. Do polycultures promote win-wins or trade-offs in agricultural ecosystem services? A meta-analysis. J. Appl. Ecol. 51: 1593–1602. Doi.org/10.1111/1365-2664.12334.

Kahraryan B, Farahvash F, Mohammadi S, Mirshekari B and Rashidi V. 2018. Evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) and vetch (*Vicia villosa* Roth) intercropping. Journal of Crop Ecophysiology, 12(4): 651-670. https://sanad.iau.ir/en/Article/956838

Kehrizi D, Rostami Ahmadvandi H. 2014. The first report of biotechnological genetic modification of Camelina and its cultivation in rainfed conditions. The first international conference and the ninth national conference of biotechnology of the Islamic Republic of Iran. June 3 to 5. International Conference Center of Shahid Beheshti University.

Kumari A, Joshi PK, Mohsin M, Arya MC and Ahmed Z. 2015. Studies on effect of spacing and nitrogen on false flax (*Camelina sativa* cv calena) under central western Himalayas of India. The Bioscan 10 (3): 1321-1326. https://thebioscan.com/index.php/pub/article/view/1711

Lamei Hervani J. 2013. Assessment of dry forage and crude protein yeilds, competition and advantage indices in mixed cropping of annual forage legume crops with barley in rainfed comditions of Zanjan province in Iran. Spj., 29:169-183. DOI: 10.22092/sppj.2017.110508

Leclère M, Lorent AR, Jeuffroy M, Butier H, Chatain AC and Loyce C. 2021. Diagnosis of camelina seed yield and quality across an on-farm experimental network. European Journal of Agronomy 122: 126190. https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126190

Li C, Hoffland E, Kuyper TW, Yu Y, Zhang CLi, Zhang HF, van der Werf W. 2020. Syndromes of production in intercropping impact yield gains. Nat. Plants 6, 653–660. https://doi.org/10.1038/s41477-020-0680-9

Lithourgidis AS, Vlachostergios DN, Dordas CA and Damalas CA. 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. European Journal of Agronomy, 34: 287-294. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007

Magomya AM, Kubmarawa D, Ndahi JA and Yebpella GG. 2014. Determination of plant proteins via the kjeldahl method and amino acid analysis: a comparative study. Int. J. Sci. Techno. Res. 3(4): 68-72. http://www.interesjournals.org/IRJBB

Majnoon Hosseini N. 2015 Cultivation and production of legumes (legumes in Iran). Tehran Academic Jihad Organization. 284 pages. (In Persian with English Abstract).

Mehni J, Mahdavi B, Azari A, Afkar S, Hashemi SE. 2020. Evaluation of yield and productivity indices of black cumin and fenugreek intercropping under weedy and weed-free conditions. Iranian Journal of Field Crop Science, 3: 73-87. DOI: 10.22059/ijfcs.2019.253533.654452

Mirhashmi M, Koocheki A, Parsa M and Nasiri Mahallati M. 2009. Advantage ajotva seeds and fenugreek intercropping at different levels of manure and planting. Iranian Journal Agriculture Research, 7: 259-269. https://sid.ir/paper/118886/fa (In Persian with English Abstract).

Mirzaei A, Naseri R, Tarab Miri SM, Soleimanifard A, Fathi A. 2017. Reaction of the yield and yield components of field pea (*Cicer arietinum* L.) to the application of plant growth enhancing bacteria and nitrogen fertilizer in rainfed conditions. Ecophysiology of Crop Plants, 11, 4(44): 775-790. https://sanad.iau.ir/Journal/jcep/Article/956859

Mousapour H, Ghanbari A, Sirousmehr AR and Asgharipour MR. 2015. Effect of sowing time on seed yield, advantage and competitive indices in ajwain (*Carum copticum* L.) and isabgol (*Plantago ovate* Forsk.) intercropping. Iranian Journal of Crop Sciences, 17(2): 139-152. DOI: 20.1001.1.15625540.1394.17.2.5.9 (In Persian with English Abstract).

Nakhzari A, Dehghanpour O and Rahemi-Kahrizaki A. 2016. Influence of nitrogen levels and intercropping mix ratio of replacement series of forage yield and barley and pea competition indicators. Journal of Crop Production, 9(1): 199-214. DOI: 10.22069/ejcp.2016.2964

Namdari M, Abbasi R, Pirdashti H & Zaefarian F. 2022. Effect of Competition on Nitrogen Status of Soybean (*Glycine max* (L) Merrill) and Millet (*Panicum miliaceum* L.) Intercropping under Low Input Agricultural System. Journal Agricultural Sciences and Sustainable Production, *32*(2), 31-46. doi: 10.22034/saps.2021.46009.2681

Nassiri Mahallati M, Koocheki AR, Mondani F, Feizi H and Amirmoradi SH. 2014. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran. Journal of Cleaner Production, 8(2): 1-8. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.099

Neamatollahi E, Jahansuz MR, Mazaheri D and Bannayan M. 2013. Intercropping. In: Lichtfouse, E. (ed.), Sustainable Agriculture Reviews, Sustainable Agriculture Reviews 12: 304. DOI 10.1007/978-94-007-5961-9

Nikdel H, Shafagh J, Nasrollahzadeh S, Raee Y & Kanouni H. 2023. Evaluation of performance and ecological indicators of intercropping of chickpeas with urban chickpeas in the dry conditions of Saqez city. Journal Agricultural Sciences and Sustainable Production, 33(3): 303-321. doi: 10.22034/saps.2023.56348.3033

Oyejola BA and Mead R. 1982. Statistical assessment of different ways calculating land equivalent ratio. Experimental Agriculture. 18: 125-138. DOI: https://doi.org/10.1017/S0014479700013600

Pavlista AD, Hergert GW, Margheim JM & Isbell TA. 2016. Growth of spring camelina (*Camelina sativa*) under deficit irrigation in western Nebraska. Industrial Crops and Products, 83: 118-123. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.017

Peters NCB and Wilson JB. 1981. Some studies on the competition between (*Avena Fatua* L.) and spring barley. II variation of *A. fatua* emergence and development and its influence oncrop yield. Journal of Weed Research, 23: 305-311. DOI:10.1111/j.1365-3180.1983.tb00553.x

Pritchard FM, Eagles HA, Norton RM, Salisbury PA and Nicolas M. 2000. Environmental effects on seed composition of Victorian canola, Australian Journal of Experimental Agriculture, 40: 679-685. https://doi.org/10.1071/EA99146

Raei Y, Bolandnazar SA and Dameghsi N. 2011. Evaluation of common bean and potato densities effects on potato tuber yield in mono-cropping and intercropping systems. Journal Agricultural Sciences and Sustainable Production, 21(2): 131-142. (In Persian with English Abstract).

Ren Y, Liuc J, Wangd Z and Zhanga S. 2016. Planting density and sowing proportions of maize-soybean intercrops affected competitive interactions and water-use efficiencies on the Loess Plateau, China. European Journal of Agronomy, 72: 70-79. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.10.001

Reuter T, Brinkmeyer T, Schreiber J, Freese V, Trautz D, Kühling I. 2022. Effects of mixed intercropping on the agronomic parameters of two organically grown malting barley cultivars (*Hordeum vulgare*) in Northwest Germany. European Journal of Agronomy 134: 126470. 1-9. https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126470

Rezaei-Chiyaneh E and Gholinezhad E. 2015. Agronomic characteristics of intercropping of additive series of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Agroecology, 7(3): 381-396. DOI: 10.22067/jag.v7i3.35858 (In Persian with English Abstract).

Rezvani moghadam P and Moradi R. 2012. Assessment of Planting Date, Biological Fertilizer and Intercropping on Yield and Essential Oil of Cumin and Fenugreek. Iranian Journal of Crops Sciences, 43(2): 217-230. DOI: 10.22059/ijfcs.2012.28484 (In Persian with English Abstract).

Sadeghpour A and Jahanzad E. 2012. Seed yield and yield components of intercropped barley (*Hordeum vulgare* L.) and annual medic (*Medicago scutellata* L.). Australian Journal of Agricultural Research, 3: 47-50.

Sadra T & Hamzei J. 2021. Evaluation of the Fficiemcy of Triticale (*Triticosecale Wittmack*) Intercropping with Winter Vetch (*Vicia villosa* L.) by Competitive Indices under Different Tillage Systems. Journal Agricultural Sciences and Sustainable Production, 31(3): 1-18. doi: 10.22034/saps.2021.41625.2541.

Saleem M, Cheema MA and Malik MA. 2001. Agro economic assessment of canola planted under different levels of nitrogen and row spacing. Int. J. Agric. Biol. 3: 27-30.

Schillinger WF, Wysocki DJ, Chastain TG, Guy SO & Karow RS. 2012. Camelina: Planting date and method effects on stand establishment and seed yield. Field Crops Research, 130: 138-144. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.02.019

Shahrabi Farahani B, Farahmandfar E, Hassanlo T, Shirani Rad AH & Tabatabaee SA. 2014. Evaluation of drought tolerance in rapeseed varieties based on physiological and agronomical characteristics at Yazd region. Electronic Journal of Crop Production, 6(4): 77-97. DOI: 20.1001.1.2008739.1392.6.4.5.7 (In Persian with English Abstract).

Shokri M, Yadavi A, Salehi A, Movahhedi Dehnavi M & Karami R. 2023. The effect of different sources of nitrogen fertilizer on yield and yield components of linseed (*linum usitatissimum* L.). Journal Agricultural Sciences and Sustainable Production, 33(3): 39-53. doi: 10.22034/saps.2022.52274.2896

Torkaman M, Mirshekari B, Farahvash F, Yarnia M & Jafari AA. 2019. Effect of Planting Dates and Patterns on some Quantity and Quality Properties and Advantageous Indices of Canola (*Brassica napus* L.) - Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Intercropping. 11(2): 113-126. doi: 10.22084/ppt.2018.14405.1759

Urbaniak SD, Caldwell CD, Zheljazkov Lada VDR and Luan L. 2008. The effect of seeding rate, seeding date and seeder type on the performance of *Camelina sativa* L. in the Maritime Provinces of Canada. Can. J. Plant Sci. 88: 501-508. https://doi.org/10.4141/CJPS07148

Vandermeer J.H. 1990. Intercropping. Agroecology (Eds. C.R. Carrol, J.H. Vandermeer and P.M. Rosset), pp. 481–516. McGraw-Hill, New York, USA.

Waraich EA, Ahmed Z, Ahmad R and Shabbir RN. 2017. Modulating the phenology and yield of *Camelina sativa* L. by varying sowing dates under water deficit stress conditions. Soil Environment. 36 (1): 84-92. DOI:10.25252/SE/17/20937

Willey RW and Rao MR. 1980. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. Experimental Agriculture, 16: 117–125. DOI: https://doi.org/10.1017/S0014479700010802

Willey RW. 1979. Intercropping its importance and research needs: Part I. Competition and yield advantage. Field Crop Abstracts, 32: 1-10.

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: 135-143. https://doi.org/10.3906/tar-1406-155

Yu Y, Stomph T-J, Makowski D, Vander Werf W. 2015. Temporal niche differentiation increases the land equivalent ratio of annual intercrops: a meta-analysis. F. Crop. Res. 184: 133–144. doi.org/10.1016/j.fcr.2015.09.010.

Zarei S, Hassibi P, Kahrizi D & Safieddin Ardebili SM. 2021. Effect of Nitrogen Application on Camelina (*Camelina sativa*) Oil Seed Yield and Yield Components at Different Planting Dates. Iranian Journal of Field Crops Research, 19(4): 311-325. doi: 10.22067/jcesc.2021.37179.0.