University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Investigation of Radiation Absorption and Use Efficiency in Safflower (*Carthamus tinctorius*) with Lentil (*Lens culinaris* Medik) Intercropping under Dryland Conditions

Farzad Mondani[1]✉ | Amin Yari[2] | Alireza Bagheri[3] | Hamid Reza Chaghazardi[4]

1. Corresponding author, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: f.mondani@razi.ac.ir
2. Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: yariamin5261@gmail.com
3. Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: a.bagheri@razi.ac.ir
4. Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: h.chaghazardi@razi.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 28 June 2023
Received in revised form 7 April 2024
Accepted 11 May 2024
Published online 12 June 2024

Keywords:
Crop growth rate
Grain yield
Leaf area index
Radiation use efficiency

ABSTRACT

Objective: Intercropping is one of the most important crop management methods to achieve sustainable agriculture goals. Therefore this study was conducted to evaluate safflower with lentil intercropping under dryland conditions.

Methods: The experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications and five treatments during 2018-2019 at the research farm of the Razi University. The experimental treatments included Safflower monoculture, Safflower and Lentil intercropping with 25:75 ratio, Safflower and Lentil intercropping with 50:50 ratio, Safflower and Lentil intercropping with 75:25 ratio, and Lentil monoculture. Safflower was considered as the main plant and Lentil as the alternative plant. The evaluated traits were leaf area index, radiation absorption, crop growth rate, relative growth rate, total dry matter, radiation use efficiency, and grain yield.

Results: The results showed that the leaf area index and consequently, radiation absorption in intercropping compared to monoculture increased by 6.2% and 48%, respectively. Trend of changes in safflower's crop growth rate in intercropping canopy compared to monoculture did not change, but the relative growth rate showed a 7.7%increase. The amount of total dry matter and radiation use efficiency in intercropping canopy did not change much compared to monoculture. Grain yield of Safflower was higher in monoculture (2472 $kg.ha^{-1}$), which did not significantly differ from the treatments with 75:25 (2294 $kg.ha^{-1}$) and 50:50 (2107 $kg.ha^{-1}$) ratio of Safflower and Lentil.

Conclusion: Generally, the results showed that the intercropping of safflower with lentils was not economically beneficial, however, alternative intercropping patterns with ratios of 25:75 and 50:50 of safflower and lentil were more efficient in terms of the investigated traits.

Cite this article: Mondani, F., Yari, A., Bagheri, A., & Chaghazardi, H. R. (2024). Investigation of Radiation Absorption and Use Efficiency in Safflower (*Carthamus tinctorius*) with Lentil (*Lens culinaris Medik*) Intercropping under Dryland Conditions. *Journal of Crops Improvement*, 26 (2), 315-330.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.361496.2829

© The Authors.
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.361496.2829

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

مطالعه کارایی جذب و مصرف تشعشع در کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) با عدس (*Lens culinaris* Medik) تحت شرایط دیم

فرزاد مندنی[۱] ✉ | امین یاری[۲] | علیرضا باقری[۳] | حمید چقازردی[۴]

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: f.mondani@razi.ac.ir

۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: yariamin5261@gmail.com

۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: a.bagheri@razi.ac.ir

۴. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: h.chaghazardi@razi.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳

کلیدواژه‌ها:
سرعت رشد محصول
شاخص سطح برگ
عملکرد دانه
کارایی مصرف تشعشع

چکیده

هدف: کشت مخلوط یکی از مهم‌ترین روش‌های مدیریت زراعی برای رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار است. بنابراین این مطالعه به‌منظور ارزیابی کشت مخلوط گلرنگ با عدس در شرایط دیم انجام شد.

روش پژوهش: آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و پنج تیمار در دانشگاه رازی در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص گلرنگ، کشت با نسبت ۲۵:۷۵ گلرنگ و عدس، کشت با نسبت ۵۰:۵۰ گلرنگ و عدس، کشت با نسبت ۷۵:۲۵ گلرنگ و عدس و کشت خالص عدس بودند. گلرنگ گیاه اصلی و عدس به‌عنوان گیاه جایگزین در نظر گرفته شد. صفات مورد ارزیابی شامل شاخص سطح برگ، جذب تشعشع، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، ماده خشک کل، کارایی مصرف تشعشع و نیز عملکرد دانه بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد شاخص سطح برگ و به‌دنبال آن میزان جذب تشعشع در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی به‌ترتیب ۶/۲ و ۴۸/۰ درصد افزایش یافت. روند تغییرات سرعت رشد محصول گلرنگ در کانوپی مخلوط نسبت به کشت خالص تغییر نداشت، اما برای سرعت رشد نسبی افزایش ۷/۷ درصدی نشان داد. میزان ماده خشک کل و کارایی مصرف تشعشع در کانوپی مخلوط نسبت به تک‌کشتی تغییر چندانی نداشت. عملکرد دانه گلرنگ در کشت خالص (۲۴۷۲ کیلوگرم در هکتار) بالاتر بود که البته با تیمارهای ۲۵:۷۵ (۲۲۹۴ کیلوگرم در هکتار) و ۵۰:۵۰ (۲۱۰۷ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌دار نداشت.

نتیجه‌گیری: در مجموع نتایج نشان داد که کشت مخلوط گلرنگ با عدس از نظر اقتصادی فاقد سودمندی مطلوب بود، اما با این‌حال الگوی‌های کشت مخلوط جایگزینی با نسبت ۲۵:۷۵ و ۵۰:۵۰ گلرنگ: عدس از لحاظ صفات موردبررسی کارایی بالاتری داشتند.

استناد: مندنی، فرزاد؛ یاری، امین؛ باقری، علیرضا و چقازردی، حمید (۱۴۰۳). مطالعه کارایی جذب و مصرف تشعشع در کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) با عدس (*Lens culinaris* Medik) تحت شرایط دیم. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۶ (۲)، ۳۳۰-۳۱۵.

DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.361496.2829

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

گلرنگ[1] یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است که معمولاً برای تولید روغن، رنگ‌رزی، طعم غذا، مصارف پزشکی و خوراک دام کشت می‌شود. در بین گیاهان رایج روغنی، گلرنگ بومی کشور است و ایران به‌عنوان یکی از مراکز اصلی تنوع آن شناخته شده است. این گیاه به شرایط مختلف آب‌وهوایی کشور سازگاری داشته به‌طوری‌که گونه‌های وحشی آن در سراسر کشور مشاهده می‌شود. از طرفی با توجه به روند رو به رشد جمعیت و افزایش مصرف سرانه روغن و هزینه زیاد تأمین روغن موردنیاز کشور از طریق واردات، توسعه کشت گیاهان دانه روغنی سازگار به شرایط اقلیمی کشور و هم‌چنین گسترش برنامه‌های تحقیقاتی در این زمینه دارای اهمیت است.

استفاده بهینه از منابع محیطی به‌ویژه عناصر غذایی منجر به آسیب کم‌تری به محیط زیست می‌شود. در بین عناصر غذایی موردنیاز گیاه عنصر نیتروژن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از جمله راه‌های پایدار مصرف عنصر نیتروژن برای رفع نیازهای غذایی گیاهان کشت گیاهان خانواده لگومینوزه می‌باشد که از توانایی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن برخوردار هستند. در بین گیاهان خانواده لگومینوزه عدس[2] از قدیمی‌ترین گیاهان غذایی مورداستفاده بشر محسوب می‌شود، این گیاه با شرایط اقلیمی ایران سازگاری دارد و در کنار منابع پروتئین‌های حیوانی می‌تواند بخشی از پروتئین‌های موردنیاز بدن را تأمین کند (والاس[3] و همکاران، ۲۰۱۶).

۲. پیشینه پژوهش

برای افزایش رشد و تولید محصولات کشاورزی روش‌های زیادی مدنظر کشاورزی پیشرفته قرار دارد که یکی از مهم‌ترین روش‌ها، افزایش میزان کارایی کاربرد منابع است. افزایش کارایی مصرف تشعشع یکی از مهم‌ترین راه‌کارهای افزایش تولید در واحد سطح است زیرا تجمع ماده خشک گیاهان ارتباط خطی با تشعشع خورشیدی جذب شده دارد. یکی از راه‌های افزایش جذب تشعشع در نظام‌های زراعی استفاده از کشت مخلوط است، زیرا در شرایط کشت مخلوط انرژی خورشیدی به نحو مطلوب‌تری استفاده شده و در نتیجه تولید در واحد سطح بهبود می‌یابد (پورامیر و همکاران، ۱۳۹۵). کشت مخلوط که یک شیوه از سیستم چندکشتی است به‌عنوان کشت هم‌زمان دو یا چند گیاه در یک قطعه زمین شناخته شده و از مهم‌ترین رویکردهای کشاورزی پایدار محسوب می‌شود که می‌تواند نقش مهمی در غلبه بر چالش‌ها و بحران‌های کنونی تأمین نیازهای رو به بشر داشته باشد (مارتین گای[4] و همکاران، ۲۰۱۸). کشت مخلوط از جنبه‌های مثبت و مزایای زیادی برخوردار است که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از بهبود کارایی استفاده از منابع محیطی (به‌ویژه آب و عناصر غذایی)، مدیریت بهتر علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها، بهبود نفوذپذیری و کاهش فرسایش خاک، افزایش انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری بوم نظام کشاورزی در برابر تنش‌ها و نوسانات محیطی و در نهایت تنوع و ثبات تولید، افزایش درآمد مزرعه و کاهش ریسک تولید (ماراستونی[5] و همکاران، ۲۰۱۹). کشت مخلوط با گیاهان تیره لگومینوز یکی از مرسوم‌ترین انواع الگوهای کشت مخلوط می‌باشد که دارای سابقه طولانی در بسیاری از مناطق جهان می‌باشد و منجر به بهبود کارایی مصرف تشعشع می‌شود (اوال[6] و همکاران، ۲۰۰۶). در مطالعه‌ای گزارش شد که در کشت مخلوط ماشک با جو کارایی مصرف تشعشع و عملکرد دانه بالاتر از شرایط تک‌کشتی این گیاهان بود (احمدی و همکاران، ۱۳۸۹). در آزمایش دیگری اثبات شد میزان تشعشع جذب‌شده در تیمارهای کشت مخلوط جو با ماشک

1. *Carthamus tinctorius*
2. *Lens culinaris Medik*
3. Wallace
4. Martin-Guay
5. Marastoni
6. Awal

حدود ۳۵ درصد بالاتر از تک‌کشتی آن‌ها بود (محسن‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۶). بنابراین با توجه به اهمیت موضوع و لزوم استفاده از راه‌کارهای کشاورزی پایدار همچون کشت مخلوط در کشاورزی، در این پژوهش کوشش شده است تا با بررسی شاخص‌های رشد، کارایی جذب و مصرف تشعشع و عملکرد دانه در کشت مخلوط گلرنگ با عدس بتوان از نتایج به‌دست‌آمده در مدیریت اراضی زراعی، به‌ویژه اراضی کوچک استفاده کرد.

۳. روش شناسی پژوهش

این آزمایش در شرایط دیم و در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۲۰ متر) در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و پنج تیمار اجرا شد. منطقه موردنظر دارای متوسط بارندگی سالیانه ۴۴۴/۷ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۴/۳ درجه سانتی‌گراد، حداکثر و حداقل درجه حرارت مطلق سالیانه به‌ترتیب ۴۴/۱ و ۲۷- درجه سانتی‌گراد است. مشخصات پارامترهای مهم هواشناسی منطقه موردبررسی طی دوره آزمایش در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات فاکتورهای هواشناسی منطقه موردمطالعه در دوره آزمایش

ماه‌های سال	بارندگی	دمای متوسط
آبان	۱۲۵/۳	۱۲/۳
آذر	۱۰۴/۰	۷/۴
دی	۴۱/۵	۴/۵
بهمن	۹۶/۳	۵/۴
اسفند	۷۹/۱	۶/۵
فروردین	۱۹۴/۸	۱۰/۴
اردیبهشت	۱۷/۵	۱۶/۷
خرداد	۰/۰	۲۶/۰
تیر	۰/۰	۳۰/۶
مرداد	۰/۰	۳۱/۳

تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص گلرنگ، کشت با نسبت ۲۵:۷۵ گلرنگ و عدس، کشت با نسبت ۵۰:۵۰ گلرنگ و عدس، کشت با نسبت ۷۵:۲۵ گلرنگ و عدس و کشت خالص عدس بودند. در این پژوهش گلرنگ گیاه اصلی و عدس به‌عنوان گیاه جایگزین در نظر گرفته شدند. تراکم بوته برای گلرنگ ۴۰ بوته در مترمربع با فاصله ۵۰ و ۵ سانتی‌متر و برای عدس نیز ۱۶۰ بوته در مترمربع با فاصله ۲۵ و ۳ سانتی‌متر به‌ترتیب بین و روی ردیف در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که برای اجرای آرایش‌های کشت مخلوط جایگزینی ابتدا برای هر یک از گیاهان جایگزین، واحد گیاهی (به نسبت یک به چهار) محاسبه شد. از محل اجرای آزمایش قبل از انجام پژوهش به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری شد (جدول ۲).

جدول ۲. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل انجام آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

شن (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	اسیدیته خاک	نیتروژن (درصد)	کربن آلی (درصد)	پتاسیم قابل جذب (پی‌پی‌ام)	فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام)	بافت خاک
۲۲	۵۳	۲۵	۷/۸	۰/۰۱	۰/۹	۳۲۰	۱۱/۸	رسی-سیلتی

آماده‌سازی زمین شامل شخم با گاوآهن قلمی بود که در اوایل آبان‌ماه ۱۳۹۷ انجام شد. به‌منظور اجرای یک سیستم اکولوژیک کم‌نهاده تا آخر فصل از هیچ‌گونه نهاده شیمیایی استفاده نشد، ولی از کود دامی پوسیده به میزان ۱۰ تن در هکتار استفاده شد. عملیات آماده‌سازی بستر کاشت گونه‌های موردبررسی پس از وقوع اولین بارندگی مؤثر (بیست و هشتم آبان‌ماه ۱۳۹۷) صورت گرفت. کشت نیز به‌صورت همزمان و پس از آماده‌سازی زمین در تاریخ دهم آبان‌ماه و با دست انجام گرفت. عملیات تنک‌کردن برای رسیدن به تراکم موردنظر پس از سبزشدن و رسیدن بوته‌ها به اندازه مطلوب انجام شد. در این آزمایش برای گلرنگ رقم سینا و برای عدس رقم کیمیا استفاده شد. رقم سینا زودرس، با تیپ رشد بینابین، مقاوم به تنش خشکی، خاردار، دارای گل‌های زرد- نارنجی با متوسط ارتفاع بوته ۱۰۳/۵ سانتی‌متر، وزن هزاردانه ۳۴/۷ گرم و میانگین روغن دانه ۳۰/۱ درصد که توسط موسسه تحقیقات کشاورزی دیم معرفی شده است. هم‌چنین کیمیا رقمی پرمحصول برای مناطق معتدل‌سرد و نیمه‌گرمسیری دیم کشور است. بذرها از مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان کرمانشاه تهیه شد.

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مدنظر و عملکرد دانه اجزای مخلوط نمونه‌برداری‌ها در دو بخش تخریبی و نهایی انجام شد. به این صورت که ابتدا بخشی از هر کرت به‌منظور نمونه‌برداری نهایی کنار گذاشته شد و در بخش دیگر نمونه‌برداری‌های تخریبی انجام شد. نمونه‌برداری‌های تخریبی هر ۱۵ روز یکبار و طی شش مرحله انجام شد. در هر مرحله نمونه‌برداری پنج بوته به تفکیک اجزای مخلوط از هر کرت به‌صورت کاملاً تصادفی برداشت شد و سپس نمونه‌ها برای اندازه‌گیری صفات مدنظر به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه ابتدا برگ‌ها از ساقه‌ها جدا شد و سپس به‌منظور اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از نرم‌افزار جی‌میکروویژن[1] استفاده گردید. برای اندازه‌گیری وزن خشک نیز ابتدا نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون قرار داده شد و سپس توسط ترازو توزین شدند. برای تخمین مقادیر ماده خشک کل روزانه (TDM)[2] برحسب گرم در مترمربع از برازش رابطه (۱) استفاده شد (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۸).

$$TDM = \frac{a}{(1+b\times e^{(-c\times x)})}$$ رابطه ۱)

در این رابطه، a: حداکثر تجمع ماده خشک کل، b: زمانی که منحنی ماده خشک کل وارد مرحله خطی می‌شود، c: سرعت رشد نسبی و x: زمان برحسب روز پس از سبزشدن است. برای محاسبه سرعت رشد محصول (CGR)[3] و سرعت رشد نسبی (RGR)[4] از به‌ترتیب از مشتق اول و دوم رابطه وزن خشک کل استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی کرمانشاه از داده‌های ایستگاه هواشناسی کرمانشاه استفاده شد و سپس میزان تشعشع جذب‌شده به‌صورت روزانه برای گلرنگ، عدس و کانوپی مخلوط براساس روابط زیر محاسبه شد (تسبو[5] و همکاران، ۲۰۰۵).

$$I_{abs} = I_0 \times (1-P) \times \left(1 - e^{(-K_S\times LAI_S)+(-K_P\times LAI_p)}\right)$$ رابطه ۲)

$$I_S = I_{abs} \times \left(\frac{(K_S\times LAI_S)}{((K_S\times LAI_S)+(K_P\times LAI_P))}\right)$$ رابطه ۳)

$$I_P = I_{abs} - I_S$$ رابطه ۴)

در این روابط، I_{abs}: تشعشع جذب شده توسط کانوپی مخلوط (مگاژول بر مترمربع)، I_0: تشعشع رسیده به بالای کانوپی (مگاژول بر مترمربع)، P: ضریب انعکاس نور که معادل ۵ درصد لحاظ شد (مندنی[6] و همکاران، ۲۰۱۹)، K_s: ضریب

1. J Microvision
2. Total Dry Matter
3. Crop Growth Rate
4. Relative Growth Ratio
5. Tsubo
6. Mondani

خاموشی نور گلرنگ که ۰/۴۸ درنظر گرفته شد (معصومی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵)، K_p: ضریب خاموشی عدس که ۰/۷ در نظر گرفته شد، LAI_s: شاخص سطح برگ روزانه گلرنگ، LAI_p: شاخص سطح برگ روزانه عدس، I_S: تشعشع جذب شده توسط کانوپی گلرنگ و I_p: تشعشع جذب‌شده توسط کانوپی عدس بود. برای برآورد مقادیر شاخص سطح برگ روزانه از برازش رابطه (۵) استفاده شد.

رابطه ۵) $LAI = a + b * 4 * (exp(-(x-c)/d))/(1+exp(-(x-c)/d))^2$

در این رابطه، a: عرض از مبدأ، b: زمان رسیدن به حداکثر LAI، c: حداکثر LAI، d: نقطه عطف منحنی و c: روزهای بعد از سبزشدن است. کارایی مصرف تشعشع (RUE)[1] برحسب گرم بر مگاژول، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک کل (گرم بر مترمربع) و میزان تشعشع جذب‌شده تجمعی (مگاژول بر مترمربع) محاسبه شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه نیز در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (به تفکیک گونه) که در اوایل مردادماه ۱۳۹۸ بود، پس از حذف اثرات حاشیه‌ای بوته‌های موجود در هر واحد آزمایشی به مساحت ۱/۸ مترمربع (۳×۰/۶ متر) برداشت و پس از خرمن‌کوبی و بوجاری بوته‌ها، عملکرد دانه براساس کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد. در پایان به‌منظور آنالیز واریانس و مقایسه میانگین از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴) و برای برازش معادلات و رسم گراف‌ها به‌ترتیب از نرم‌افزارهای اسلایدرایت[2] و اکسل استفاده شد. پس از انجام تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)[3] در سطح آماری ۵ درصد انجام شد.

۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. شاخص سطح برگ

نتایج نشان داد که صرف‌نظر از تیمارهای موردبررسی شاخص سطح برگ گلرنگ و عدس در اوایل دوره رشد با سرعت بسیار کندی افزایش یافته و از ۳۰ روز پس از سبزشدن وارد مرحله خطی رشد خود شد و تا حدود ۵۰ الی ۷۰ روز پس از سبزشدن به حداکثر میزان خود رسیده و سپس تا پایان دوره رشد گیاه به‌تدریج کاهش یافت (شکل ۱).

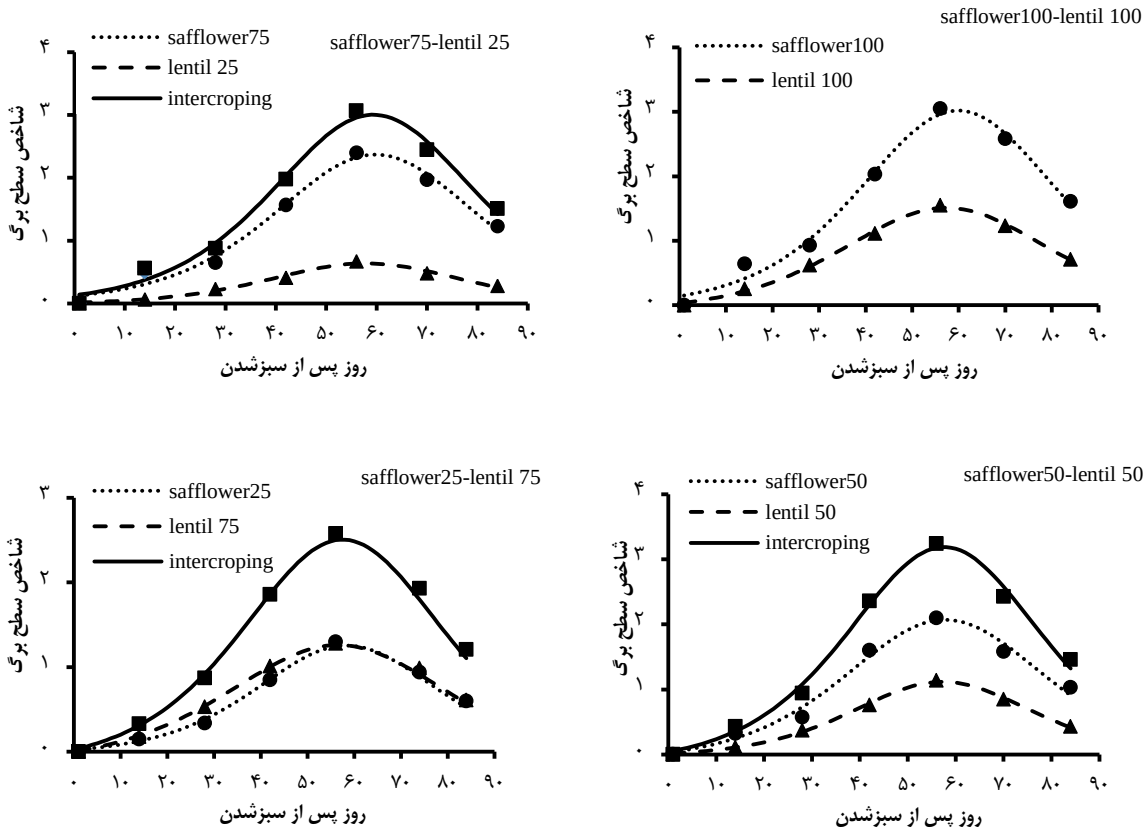
شاخص سطح برگ گلرنگ و عدس تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی قرار گرفت. بیش‌ترین شاخص سطح برگ گلرنگ در تمامی مراحل نمونه‌برداری به میزان ۳/۰ مربوط به تیمار کشت خالص این گیاه بود. برای گیاه عدس نیز در بین الگوهای مختلف کشت بیش‌ترین شاخص سطح برگ (۰/۹) در تیمار کشت خالص مشاهده شد. بیش‌ترین شاخص سطح برگ کانوپی مخلوط به میزان ۳/۲ در تیمارهای ۵۰:۵۰ و ۷۵ درصد گلرنگ و ۲۵ درصد عدس مشاهده شد که میزان بهبود آن حدود ۶/۲ درصد در مقایسه با تیمار کشت خالص گلرنگ بود (شکل ۱).

۴. ۲. جذب تشعشع خورشیدی

مقدار تشعشع رسیده در بالای کانوپی و مقدار تشعشع جذب‌شده توسط گلرنگ و عدس در آرایش‌های مختلف مخلوط در شکل (۲) نشان داده شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که روند جذب تشعشع از روند تغییرات شاخص سطح برگ تبعیت کرد، به‌طوری‌که در ابتدای دوره رشد، میزان جذب تشعشع پایین بود و در ادامه دوره رشد گیاه با افزایش شاخص سطح برگ جذب تشعشع نیز به‌تدریج افزایش یافت و در حدود ۶۰ تا ۷۰ روز پس از سبزشدن به حداکثر مقدار خود رسید

1. Radiation Use Efficiency
2. Slidewrite
3. Least Significant Difference

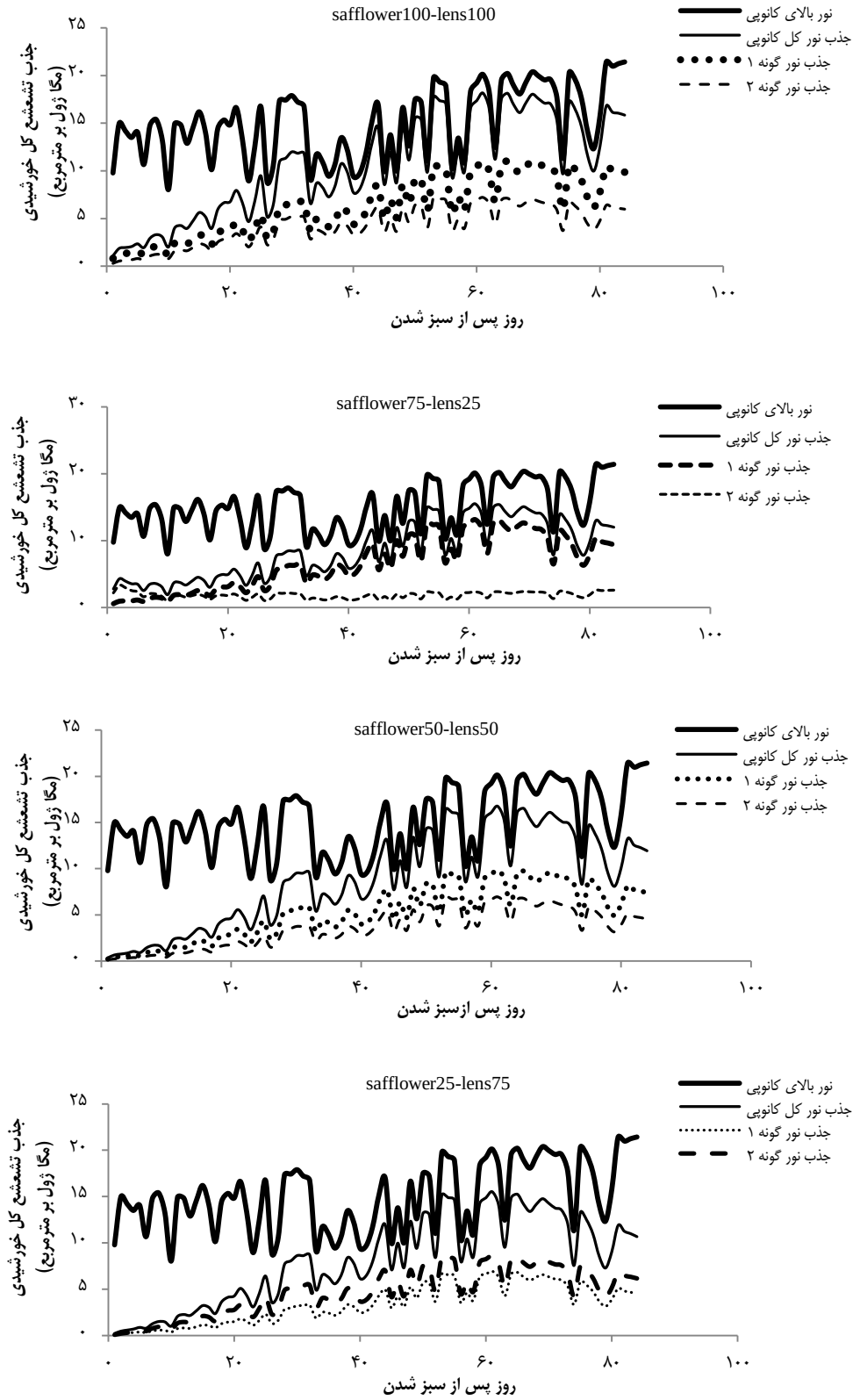
و سپس با کاهش شاخص سطح برگ روند جذب تشعشع نیز کاهش یافت (شکل ۲). بیش‌ترین جذب تشعشع برای گیاه گلرنگ در کشت خالص به میزان ۴۹۹ مگاژول بر مترمربع حاصل شد. در تیمارهای کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی کاهش جذب تشعشع برای هر یک از اجزای مخلوط مشاهده شد، اما در مجموع جذب تشعشع حاصل از کانوپی مخلوط بیش‌تر از کشت خالص بود. بیش‌ترین جذب تشعشع در تیمار ۵۰:۵۰ و به میزان ۷۳۹ مگاژول بر مترمربع مشاهده شد که در مقایسه با کشت خالص گلرنگ حدود ۴۸ درصد بالاتر بود اما با تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد گلرنگ و ۲۵ درصد عدس تفاوت چندانی نداشت.



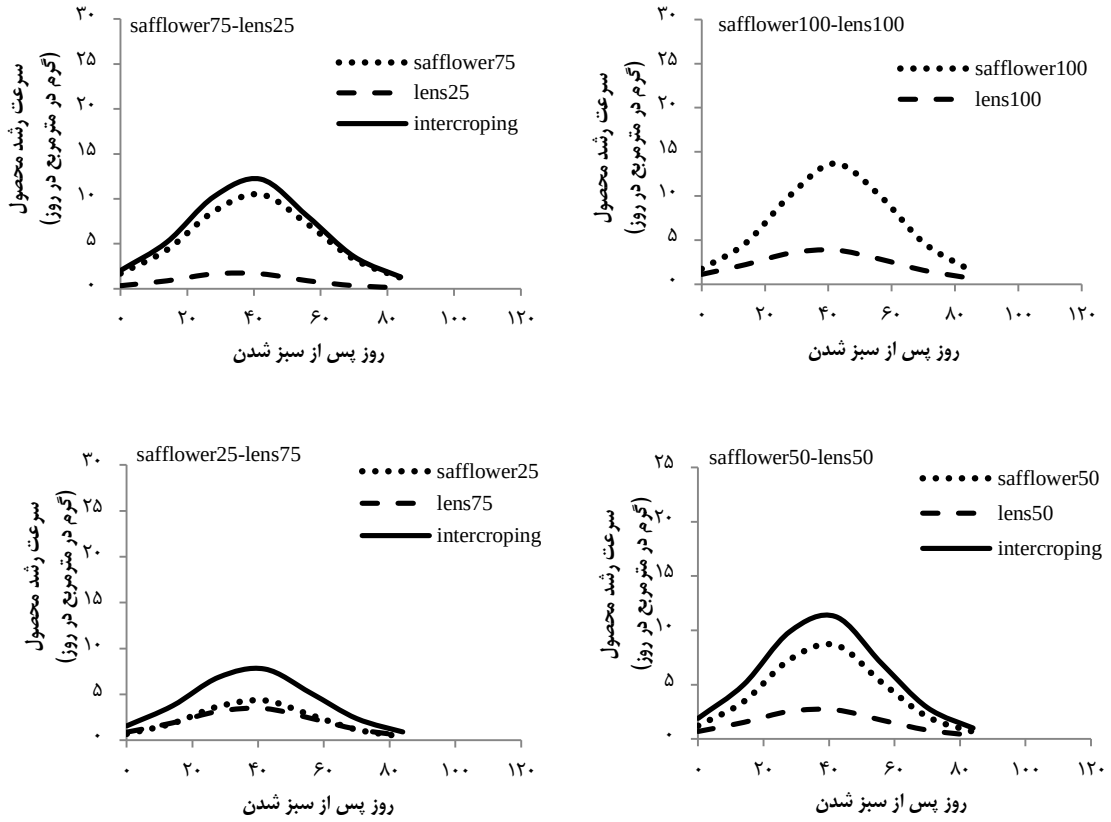
شکل ۱. تأثیر الگوی مختلف کاشت بر شاخص سطح برگ گلرنگ و عدس

۴. ۳. سرعت رشد محصول

سرعت رشد محصول در ابتدا به‌علت کوچک‌بودن بوته‌های گلرنگ و عدس و در نتیجه جذب نور و تولید ترکیبات فتوسنتزی کم بسیار پایین بود، اما به‌تدریج با افزایش شاخص سطح برگ و به‌دنبال آن جذب نور و میزان فتوسنتز بیش‌تر، سرعت رشد محصول نیز شروع به افزایش یافتن نمود و در حدود ۴۰ تا ۵۰ روز پس از سبزشدن که تقریباً مصادف با زمان حداکثر شاخص سطح برگ و جذب نور بوذ به بالاترین میزان خود رسید و اندکی پس از این دوره به‌دلیل زردی و ریزش برگ‌های پایین کانوپی روند نزولی پیدا کرد (شکل ۳).



شکل ۲. تأثیر الگوی مختلف کاشت بر میزان جذب تشعشعات کل خورشیدی گلرنگ و عدس

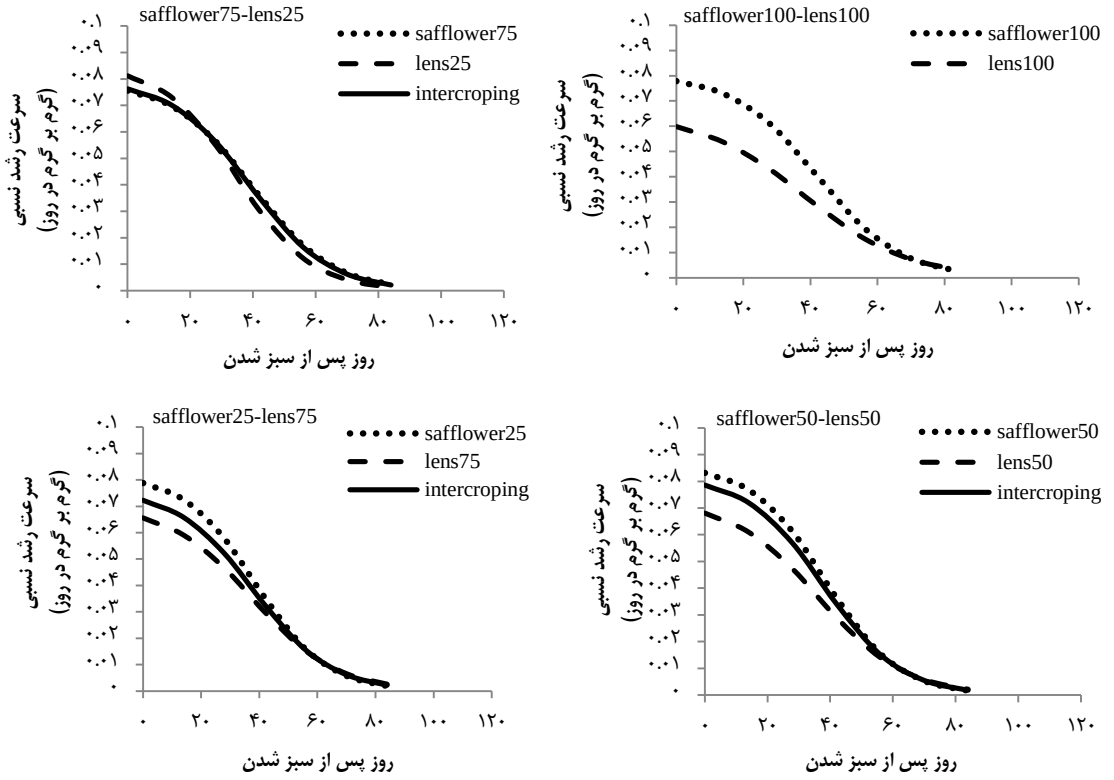


شکل ۳. تأثیر الگوی مختلف کاشت بر سرعت رشد محصول گلرنگ و عدس

همان‌گونه که نتایج نشان داد بیش‌ترین میزان حداکثر سرعت رشد محصول در بین تیمارهای مختلف متعلق به تیمار کشت خالص گلرنگ (۱۳٫۶ گرم در مترمربع در روز) بود و کم‌ترین آن در تیمار ۲۵ درصد گلرنگ و ۷۵ درصد عدس مشاهده شد. سرعت رشد محصول گلرنگ و عدس در آرایش‌های مختلف کشت مخلوط نسبت به کشت خالص آن‌ها پایین‌تر بود، اما در مجموع سرعت رشد محصول کل کانوپی مخلوط به‌جز در تیمار ۷۵ درصد گلرنگ و ۲۵ درصد عدس تقریباً مشابه کشت خالص گلرنگ بود (شکل ۳). بیش‌ترین سرعت رشد محصول برای برای گیاه عدس نیز در تیمار کشت خالص این گیاه و به میزان ۳٫۸ گرم در مترمربع در روز حاصل شد.

۴.۴. سرعت رشد نسبی

نتایج نشان داد که با گذشت زمان سرعت رشد نسبی صرف‌نظر از تیمارها شروع به کاهش یافتن نمود، به گونه‌ای که افت مخصوص این صفت از ۲۰ الی ۳۰ روز پس از سبزشدن آغاز شد و تا انتهای دوره رشد گیاه به صفر رسید (شکل ۴). در بین تیمارهای مختلف و در تمامی مراحل نمونه‌برداری بیش‌ترین سرعت رشد نسبی در تیمار خالص گلرنگ به میزان ۰٫۰۷۷ گرم بر گرم در روز و کم‌ترین آن در تیمار ۲۵ درصد گلرنگ و ۷۵ درصد عدس مشاهده شد. بیش‌ترین سرعت رشد نسبی عدس نیز به میزان ۰٫۰۵۹ گرم بر گرم در روز متعلق به تیمار کشت خالص این گیاه بود. در بین نسبت کاشت جایگزینی نیز بیش‌ترین سرعت رشد نسبی مربوط به تیمار ۵۰ درصد گلرنگ و ۵۰ درصد عدس به میزان ۰٫۰۸۳گرم بر گرم در روز بود که باعث افزایش ۷٫۷ درصدی این صفت نسبت به کشت خالص گلرنگ شد.



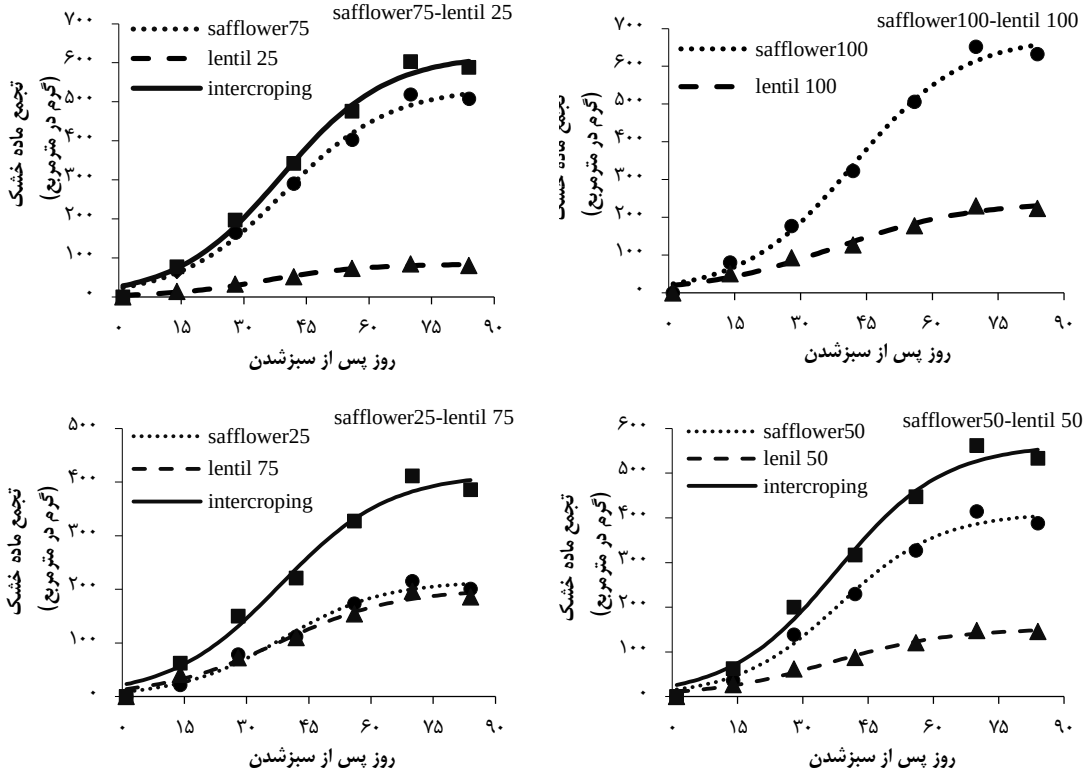
شکل ٤. تأثیر الگوی مختلف کاشت بر سرعت رشد نسبی گلرنگ و عدس

۴. ۵. ماده خشک کل

در ابتدای دوره رشد، میزان ماده خشک کل به‌علت کوچک بون بوته‌ها کم بود، اما با گذشت زمان و پس از اتمام دوره رشد نمایی (حدود ۳۰ روز پس از سبزشدن) منحنی تغییرات وزن خشک، به‌علت افزایش جذب نور سرعت رشد محصول نیز افزایش یافته که نتجه آن ورود روند منحنی رشد به مرحله خطی خود بوده که این موضوع باعث افزایش هرچه سریعتر تجمع ماده خشک گردد (شکل ۵). صرف‌نظر از تیمارهای موردبررسی منحنی تغییرات وزن خشک در حدود ۷۰ الی ۷۵ روز پس از سبزشدن وارد مرحله رشد ثابت خود گردید که این روند تا انتهای دوره رشد ادامه یافت. همان‌گونه که نتایج این بررسی نشان می‌دهد شروع مرحله ثابت رشد با کاهش بسیار شدید سرعت رشد محصول مصادف می باشد (شکل ۳). پیری و زردشدن برگ‌ها، سایه‌اندازی آن‌ها بر یکدیگر، انتقال مجدد کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای به اندام‌های زایشی، ریزش برگ‌ها، افزایش بافت‌های غیر ساختمانی و کاهش نسبت تنفس رشد به تنفس نگهداری از جمله دلایل کاهش شیب تجمع ماده خشک در گیاهان مختلف مطرح شده است.

روند تغییرات ماده خشک کل گیاه گلرنگ و عدس تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت (شکل ۵). بیش‌ترین ماده خشک کل به میزان ۶۵۷ گرم در مترمربع متعلق به کشت خالص گلرنگ بود. بیش‌ترین ماده خشک تجمعی عدس نیز به میزان ۲۳۰ گرم در مترمربع در کشت خالص این گیاه مشاهده شد. در الگوهای کشت مخلوط جایگزینی میزان تجمع ماده خشک کل اجزای مخلوط به نسبت تک‌کشتی آن‌ها کم‌تر بود. هم‌چنین میزان تجمع ماده خشک کل کانوپی مخلوط نیز به نسبت کشت خالص گلرنگ پایین‌تر بود، با این‌حال در بین سه نسبت کاشت جایگزینی بیش‌ترین میزان این صفت (۶۰۳ گرم بر مترمربع) مربوط به تیمار ۷۵ درصد گلرنگ و ۲۵ درصد عدس بود که با تیمار کشت خالص

گلرنگ (۶۵۷ گرم در مترمربع) تفاوت چندانی نداشت. این نتایج با توجه به نتایج مربوط به صفت سرعت رشد محصول دور از ذهن نبود. به‌نظر می‌رسد اثرات تسهیل‌کنندگی گیاه عدس که به‌طور عمده از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن بر بهبود رشد و تولید ماده خشک کل گلرنگ می‌باشد، چندان تأثیرگذار نبوده است.



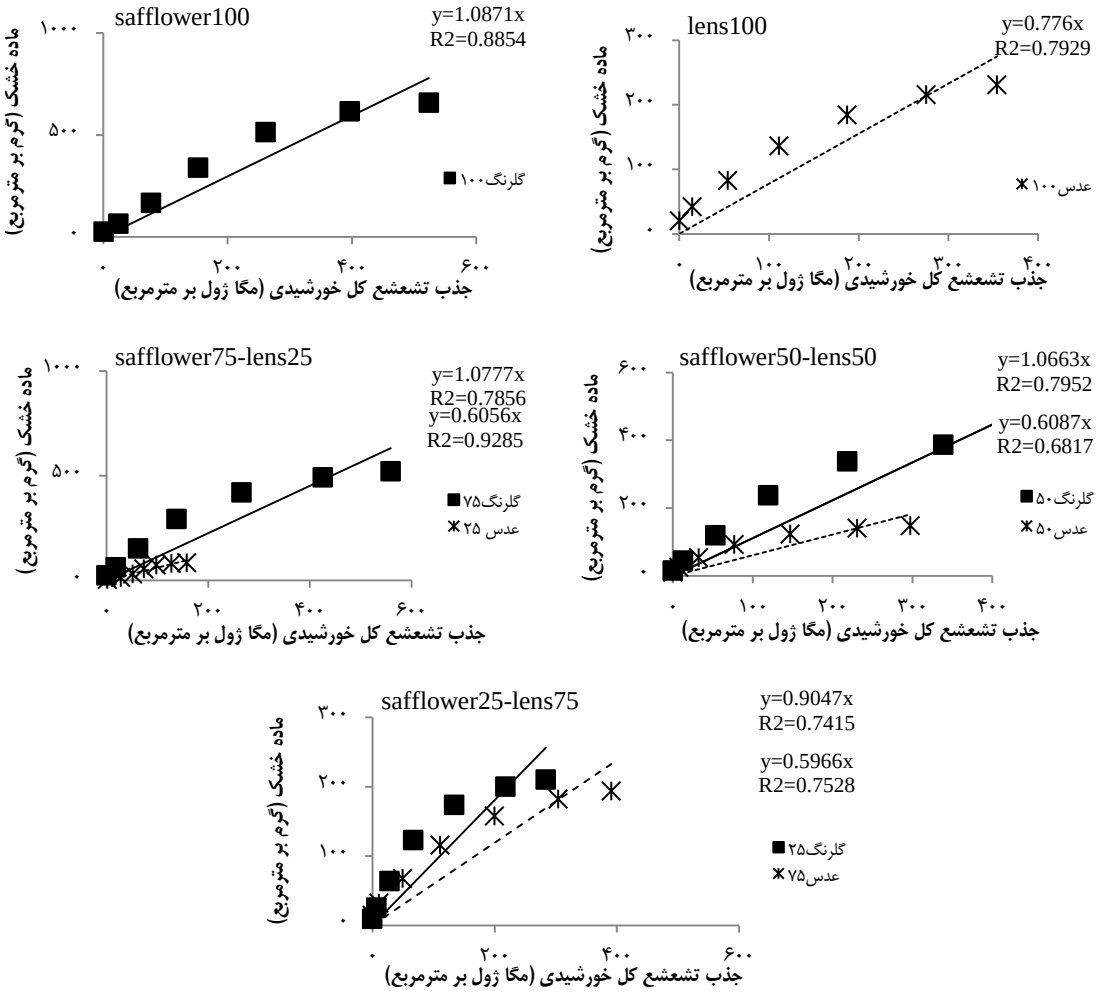
شکل ۵. تأثیر الگوی مختلف کاشت بر وزن خشک کل گلرنگ و عدس

۴. ۶. کارایی مصرف تشعشع

بیش‌ترین میزان کارایی مصرف تشعشع به میزان ۱/۰۸۷۱ گرم بر مگاژول متعلق به تیمار کشت خالص گلرنگ بود. در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط نیز بیش‌ترین کارایی مصرف تشعشع به میزان ۱/۰۷۷۷ گرم بر مگاژول در تیمار ۷۵ درصد گلرنگ و ۲۵ درصد عدس مشاهده شد. نتایج این بررسی نشان داد که با کاربرد الگوهای مختلف کشت مخلوط گلرنگ با عدس نسبت به کشت خالص آن‌ها، کارایی مصرف تشعشع تأثیر چندانی نپذیرفت (شکل ۶).

۴. ۷. عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آرایش‌های مختلف کاشت بر عملکرد دانه گلرنگ معنی‌دار بود (جدول ۳). در بین تیمارهای آزمایش بیش‌ترین میزان عملکرد دانه مربوط به کشت خالص گلرنگ بود و به‌دنبال آن با کاهش نسبت درصد گلرنگ در کانوپی مخلوط عملکرد دانه نیز کاهش یافت (جدول ۴). در بین آرایش‌های کشت مخلوط بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به تیمار ۷۵ درصد گلرنگ و ۲۵ درصد عدس بود که با تیمارهای کشت خالص و تیمار ۵۰:۵۰ از نظر آماری تفاوت معنی‌دار نبود. کم‌ترین عملکرد دانه گلرنگ نیز در تیمار ۲۵ درصد گلرنگ و ۷۵ درصد عدس مشاهده شد (جدول ۴).



شکل ٦. تأثیر الگوی مختلف کاشت بر کارایی مصرف تشعشع گلرنگ و عدس

جدول ۳. تجزیه واریانس عملکرد دانه گلرنگ تحت تأثیر تیمارهای موردبررسی

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه
تکرار	۲	۱۰۲۶۷۳
آرایش‌های کشت مخلوط	۴	۱۴۶۷۱۶۲**
خطا	۸	۱۱۸۲۰۸
ضریب تغییرات		۱۶/۷

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر غیر معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح آماری ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

جدول ٤. اثر آرایش‌های کشت مخلوط بر عملکرد دانه گلرنگ

آرایش‌های کشت مخلوط	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)
کشت خالص گلرنگ	۲۴۷۲[a]
۷۵ گلرنگ: ۲۵ عدس	۲۲۹۴[a]
۵۰ گلرنگ: ۵۰ عدس	۲۱۰۷[ba]
۲۵ گلرنگ: ۷۵ عدس	۱۵۴۷[b]
کشت خالص عدس	۷۴۷[c]

حروف غیر مشابه نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (LSD).

۵. بحث

نتایج نشان داد اگرچه در آرایش‌های مختلف کشت مخلوط کاهش شاخص سطح برگ به تفکیک گونه نسبت به تیمار کشت خالص آن‌ها مشاهده شد، اما در مجموع شاخص سطح برگ کانوپی مخلوط بیش‌تر از کشت خالص بود. روند رشد سطح برگ گیاهان طی فصل رشد عموماً به‌صورت غیرخطی (سیگموئیدی) است، به‌طوری‌که در نیمه دوم فصل رشد به حداکثر خود می‌رسد و سپس با پیرشدن و از بین رفتن برگ‌ها کاهش می‌یابد و این هنگامی است که تولید برگ‌های جدید کفاف سطح برگ از بین رفته را نمی‌دهد. در واقع افزایش شاخص سطح برگ گیاهان تا زمانیکه سایه‌اندازی برگ‌های جدید بر برگ‌های پیشین موجب عدم کفایت فتوسنتزی برگ‌ها برای گیاه و در نتیجه ریزش و حذف آن‌ها می‌شود ادامه می‌یابد تا این‌که مقدار برگ‌های تازه تولیدشده با ریزش یافته‌ها برابر شده و شاخص سطح برگ ثابت می‌شود (کوچکی و همکاران ب، ۱۳۸۹). در تیمارهای کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی کاهش جذب تشعشع برای هر یک از اجزای مخلوط مشاهده شد، اما در مجموع جذب تشعشع حاصل از کانوپی مخلوط بیش‌تر از کشت خالص بود. به‌نظر می‌رسد علت بهبود میزان جذب تشعشع توسط کانوپی در کشت مخلوط، بهبود شاخص سطح برگ کل کانوپی باشد. افزایش شاخص سطح برگ سبب می‌شود که گیاه میزان مواد فتوسنتزی بیش‌تری را به سبب استفاده بیش‌تر از تشعشع خورشید تولید کند. در مطالعه‌ای دیگر نیز تأثیر مثبت گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن بر میزان جذب تشعشع توسط کانوپی مخلوط ذرت با لوبیا گزارش شده است (نصیری محلاتی[1] و همکاران، ۲۰۱۵). در سیستم کشت مخلوط اگر انتخاب گونه‌های گیاهی و نسبت‌های کاشت به‌صورت مناسب در نظر گرفته شوند، حداکثر جذب تشعشع و سایر منابع که از بارزترین اثرات تسهیل‌کنندگی گونه‌های گیاهی در کنار هم می‌باشد، صورت خواهد گرفت (دوشن[2] و همکاران، ۲۰۱۷). پژوهش‌گران دیگر نیز عنوان کرده‌اند کشت مخلوط گیاه گلرنگ با حبوبات می‌تواند به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر در راستای افزایش ظرفیت تولید این گیاهان مورداستفاده قرار گیرد (اسماعیلیان و همکاران، ۱۴۰۰؛ سعیدی و همکاران، ۱۳۹۷). همان‌طور که نتایج نشان داد در شرایط کشت مخلوط سرعت رشد نسبی کل کانوپی بیش‌تر از سرعت رشد نسبی گلرنگ بود که حصول این نتیجه ممکن است به‌علت اثرات تسهیل‌کنندگی کشت مخلوط بر بهبود وضعیت رشد گونه‌های گیاهی باشد که با نتایج دیگر مطالعات نیز همخوانی داشت (موسویان و سید محمدی، ۱۳۹۴).

نتایج این بررسی هم‌چنین نشان داد که با کاربرد الگوهای مختلف کشت مخلوط گلرنگ با عدس نسبت به کشت خالص آن‌ها، کارایی مصرف تشعشع تأثیر چندانی نپذیرفت. در شکل‌گیری کارایی مصرف تشعشع دو جز بسیار مهم میزان تولید ماده خشک و جذب تشعشع تجمعی تأثیر دارند. همان‌گونه که نتایج این پژوهش نشان داد اگرچه میزان تشعشع جذب‌شده تجمعی در تیمارهای کشت مخلوط به نسبت تک‌کشتی آن‌ها تا حدودی بهبود یافته بود، اما میزان تجمع ماده خشک کل تأثیر چندانی از اثرات تسهیل‌کنندگی کشت مخلوط نپذیرفته بود که به‌نظر می‌رسد همین موضوع را بتوان به‌عنوان دلیل این نتیجه مطرح نمود. در بررسی‌های دیگر نیز تغییرات متفاوت کارایی مصرف تشعشع در کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی گزارش شده است. افزایش جذب تشعشع خورشیدی، تولید بیش‌تر ماده خشک یا هر دو عامل مذکور می‌تواند دلیل کارایی مصرف نور نور بالاتر باشد. البته در مجموع اعتقاد بر این است که کشت‌های مخلوط بیش‌تر به‌واسطه افزایش جذب نور، از طریق افزایش طول دوره جذب نور یا در نتیجه پوشش بیش‌تر سطح خاک باعث افزایش بهره‌وری سیستم‌های زراعی می‌شوند. در واقع در زراعت‌های تک‌کشتی همواره مقادیری از تشعشع خورشیدی به‌دلیل وجود فضاهای خالی در کانوپی تلف می‌شود. مقدار این تلفات در زراعت‌های مخلوط به‌دلیل پوشش بیش‌تر سطح

1. Nassiri Mahallati
2. Duchene

خاک کاهش یافته و در نتیجه میزان جذب تشعشع کل نسبت به تک‌کشتی بیش‌تر می‌شود، که این مسئله به تنهایی می‌تواند سبب افزایش عملکرد گردد، اگرچه ممکن است کارایی مصرف نور تحت تأثیر قرار نگرفته و یا حتی در مواردی نیز دچار کاهش گردد (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۸).

عملکرد دانه تحت تأثیر تیمارهای مختلف کشت مخلوط قرار گرفت. به‌نظر می‌رسد در تیمارهایی که تفاوت عملکرد دانه با تیمار کشت خالص معنی‌دار نبوده، با وجود کاهش سهم گلرنگ در واحد سطح زمین، اما به‌علت اثرات تسهیل‌کنندگی گیاه عدس که به‌طور عمده مربوط به تثبیت بیولوژیک نیتروژن و جذب نیتروژن فراهم شده در انتهای دوره رشد گیاه توسط گلرنگ می‌باشد، میزان عملکرد دانه به‌ازای هر بوته بهبود یافته است. این موضوع ممکن است به‌دلیل آرایش بهتر کانوپی در شرایط کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی نیز باشد که منجر به جذب نور بیش‌تر و تولیدات فتوسنتزی مطلوب‌تر می‌شود. از طرفی دیگر با توجه به نتایج صفت ماده خشک کل به‌نظر می‌رسد علت بهبود عملکرد دانه گلرنگ تخصیص بیش‌تر مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی و دانه‌های گیاه باشد، چراکه برخلاف کاهش میزان تجمع ماده خشک کانوپی مخلوط و سهم گلرنگ در واحد سطح زمین ولی عملکرد دانه افزایش یافت. در آزمایش دیگری بهبود عملکرد دانه آفتابگردان در شرایط کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی به‌علت استفاده بهینه از زمین که باعث افزایش حاصل‌خیزی خاک از طریق تثبیت بیولوژیک نیتروژن توسط ماشک لگوم‌ها شده بود گزارش شده است (نجف‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵). در مطالعه‌ای دیگر نیز عنوان شد که عملکرد دانه ذرت در تیمارهای کشت مخلوط نواری به‌علت اثرات تسهیل‌کنندگی ناشی از تثبیت بیولوژیک لوبیا بهبود یافت (کوچکی و همکاران الف، ۱۳۸۹).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج نشان داد که در مورد صفات سرعت رشد محصول و ماده خشک کل در تیمارهای کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی کاهش جزئی مشاهده شد. شاخص سطح برگ، میزان جذب تشعشع و سرعت رشد نسبی کانوپی کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی بالاتر بود. کارایی مصرف تشعشع و عملکرد دانه گلرنگ در شرایط کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی تغییر چندانی نداشت، اما با توجه به کاهش سهم تراکم گلرنگ در شرایط کشت مخلوط، عملکرد تک‌بوته آن بهبود یافت. هم‌چنین در بین آرایش‌های مختلف کشت مخلوط، تیمار ۷۵ درصد گلرنگ و ۲۵ درصد عدس از کارایی بالاتری برخوردار بود. در پایان می‌توان نتیجه گرفت که اگر تنها عملکرد اقتصادی گیاه مدنظر باشد، کشت مخلوط گلرنگ با عدس در مقایسه با کشت مخلوط این گیاه با سایر گیاهان خانواده حبوبات از سودمندی چندانی براساس نتایج این پژوهش برخوردار نبود، اما با در نظرگرفتن سایر ویژگی‌های مطلوب همراه‌شدن گیاه عدس با گلرنگ در سیستم کشت مخلوط، نظیر بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش تنوع زیستی و کاهش میزان مصرف نهاده‌های شیمیایی می‌تواند برای شرایط اراضی دیم کشور مناسب باشد.

۷. تشکر و قدردانی

هزینه اجرای این بررسی از محل اعتبار پژوهشی دانشگاه رازی تأمین شده است که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

اسماعیلیان، یاسر و امیری، محمد بهزاد (۱۴۰۰). ارزیابی زراعی و اقتصادی کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و نخود (*Cicer arietinium* L.) تحت شرایط کاربرد عناصر ریزمغذی. *نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۵ (۵۷)، ۱-۲۰.

احمدی، ایوب؛ دباغ محمدی نسب، عادل؛ سلماسی، سعید زهتاب؛ امینی، روح‌اله و جانمحمدی، حسین (۱۳۸۹). ارزیابی عملکرد و شاخص‌های سودمندی در کشت مخلوط جو و ماشک گل خوشه‌ای. دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۰(۴)، ۷۷-۸۷.

پورامیر، فرزین؛ حسین‌پناهی، فرزاد و علیزاده، یاسر (۱۳۹۵). بررسی تأثیرترکیب‌های مختلف کشت بر میزان جذب و کارایی مصرف نور کنجد و نخود در کشت مخلوط سری‌های افزایشی. *مجله کشاورزی بوم‌شناختی*، ۶(۱)، ۸۱-۹۷.

سعیدی, محمودرضا؛ راعی، یعقوب؛ امینی، روح‌اله؛ تقی‌زاده، اکبر و پاسبان اسلام، بهمن (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد و پروتئین گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در کشت مخلوط با باقلا (*Vicia faba* L.) تحت تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی. *دانش کشاورزی وتولید پایدار*، ۲۸ (۴)، ۲۴۷-۲۶۰.

کوچکی، علیرضا؛ نصیری محلاتی، مهدی؛ فیضی، حسن؛ امیرمرادی، شهرام و فرزاد مندنی (۱۳۸۹ الف). اثر کشت مخلوط نواری ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) بر عملکرد ماده خشک و نسبت برابری زمین در شرایط کنترل و عدم کنترل علف‌های هرز. *نشریه بوم‌شناسی کشاورزی*، ۲ (۲)، ۲۲۵-۲۳۵.

کوچکی, علیرضا؛ نصیری محلاتی, مهدی؛ خرم دل، سرور؛ انورخواه، سپیده؛ ثابت تیموری، مژگان و سنجانی، سارا (۱۳۸۹ ب). مطالعه شاخص‌های رشد شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.) در دو نوع کشت مخلوط جایگزینی و افزایشی. *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۲ (۱)، ۲۷-۳۶.

کوچکی، علیرضا؛ نصیری محلاتی، مهدی؛ مندنی، فرزاد؛ فیضی، حسن و شهرام، امیرمرادی (۱۳۸۸). ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور توسط کانوپی کشت مخلوط ذرت و لوبیا. *نشریه بوم‌شناسی کشاورزی*، ۱ (۱)، ۱۳-۲۳.

محسن آبادی، غلامرضا؛ جهان‌سوز، محمدرضا؛ چایی چی، محمدرضا؛ رحمتیان، مشهدی؛ لیاقت، عبدالمجید و ثواقبی فیروزآبادی، غلامرضا (۱۳۸۶). ارزیابی کشت مخلوط جو-ماشک در سطوح مختلف نیتروژن. *مجله بین‌المللی علوم و فناوری کشاورزی*، ۱۰(۱)، ۳۱-۲۳.

معصومی‌پور، افسانه؛ ترابی، بنیامین و رحیمی، اصغر (۱۳۹۵). ارزیابی ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور در ارقام مختلف گلرنگ تحت سطوح مختلف کود نیتروژن. نشریه علمی تولید گیاهان زراعی، ۹(۳)، ۶۷-۸۶.

موسویان، سیدنادر و سیدمحمدی، سیدعلیرضا (۱۳۹۴). اثر نیتروژن و الگوهای کشت بر صفات مورفولوژیک و شاخص‌های رشد در کشت مخلوط ذرت و آفتابگردان. *فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۷(۲۶)، ۱۰۵-۱۲۰.

نجف‌آبادی، آذین؛ جلیلیان، جلال و زردشتی، محمدرضا (۱۳۹۵). تأثیر الگوهای کشت مخلوط بر برخی ویژگی‌های کمی وکیفی علوفه گلرنگ و گاودانه در سیستم‌های کشت پرنهاده و کم نهاده. *مجله به زراعی*، ۱۹ (۲): ۴۴۵-۴۶۰.

References

Ahmadi, A., Dabbagh Mohammdi Nasab, A., Zehtab Salmasi, S., Amini, R., Janmohammadi, H., & Nami, F. (2010). Evaluation of Yield and Advantage Indices in Barley and Vetch Intercropping. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 20(2)*, 77-87. (In Persian).

Awal, M. A., Koshi, H., & Ikeda, T. (2006). Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. *Agricultural and forest meteorology*, *139*, 74-83.

Duchene, O., Vian, J. F., & Celette, F. (2017). Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *240*, 148-161.

Esmaeilian, Y., & Amiri, M. B. (2021). Agronomic and Economic Evaluation of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and Chickpea (*Cicer arietinium* L.) Intercropping under Micronutrient Applications. *Journal of Crop Ecophysiology*, *15*(1), 1-20. (In Persian).

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., H, Feizi., Amirmoradi, S., & Mondani, F. (2010 a). Effect of strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and land equivalent ratio in weedy and weed free conditions. *Journal of Agroecology*, *2*(2), 225-235. (In Persian).

Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M., Khoramdel, S., Anvarkhah, S., Sabet Teimouri, M., & Sanjani, S. (2010 b). Evaluation of growth indices of hemp (*Cannabis sativa* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.) in intercropping with replacement and additive series. *Journal of Agroecology*, *2*(1), 27-36. (In Persian).

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feizi, H., & Amirmoradi, S. (2009). Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercroppingcanopy. *Journal of Agroecology*, *1*(1), 13-23. (In Persian).

Marastoni, L., Sandri, M., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Brunetto, G., Cesco, S., & Mimmo, T. (2019). Synergism and antagonisms between nutrients induced by copper toxicity in grapevine rootstocks: monocropping vs. intercropping. *Chemosphere*, *214*, 563-578.

Masomipour, A., Torabi, B., & Rahimi, A. (2017). Evaluation of Extinction Coefficient and Radiation Use Efficiency in Different Cultivars of Safflower under Different Levels of Nitrogen (N) Fertilizer. *Electronic Journal of Crop Production, 9(3),* 67-86. (In Persian).

Martin-Guay, M., Paquette, A., Dupras, J., & Rivest, D. (2018). The new green revolution: sustainable intensification of agriculture by intercropping. *Science of the Total Environment*, *615*, 767-772.

Mohsen Abadi, GH. R., Jahansouz, M. R., Chaeichi, M. R., Rahimian Mashhadi, H. R., Liaghat, A. M., & Savaghebi Firouzabadi, GH. R. (2007). Evaluation of Barley–Vetch Intercrop at Different Nitrogen Rates. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *10(1),* 23-31. (In Persian).

Mondani, F., Khani, K., Jalali Honarmand, S., & Saeidi, M. (2019). Evaluating effects of plant growth-promoting rhizobacteria on the radiation use efficiency and yield of soybean (*Glycine max*) under water deficit stress condition. *Agricultural Water Management*, *213*, 707-713.

Mousavian, S. N., & Seyedmohammdi, A. R. (2015). The effect of nitrogen and planting patterns on morphological traits and growth indices in mixed maize and sunflower cultivation. *Crop Physiology*, *7*(26), 105-120. (In Persian).

Najaf Abadi, A., Jalilian, J., & Zardoshti, M. R. (2017). The effect of intercropping patterns on quantitative and qualitative characteristics of safflower and bitter vetch in high-input and low-input farming systems. *Journal of Crop Improvement*, *19*(2), 445-460. (In Persian).

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Mondani, F., Feizi, H., & Amirmoradi, S. (2015). 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*, *106*, 343-350.

Pour Amir, F., Hossein Panahi, F., & Alizadeh, Y. (2016). Evaluation the effect of different planting combinations on radiation absorption and use efficiency in sesame and chickpea intercropping in an additive series. *Journal of Agroecology*, *6*(1), 81-97. (In Persian).

Saeidi, M. R., Raei, Y., Amini, R. A., Taghizadeh, A., & Pasban Eslam, B. (2018). Evaluation of yield and protein content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.) under biological and chemical fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *28*(4), 247-260. (In Persian).

Tsubo, M., Walker, S., & Ogindo, H. O. (2005). A simulation model of cereal–legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. *Field Crops Research*, *93*, 10-22.

Wallace, T. C., Murray, R., & Zelman, K. M. (2016). The Nutritional Value and Health Benefits of Chckpeas and Hummus. *Nutrien*, *8*, 766.