نشریه علمی
بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)
جلد ۱۷ شماره ۳
پاییز ۱۴۰۴
(شماره پیاپی ۶۵)
شاپا: ۲۰۰۸-۷۷۱۳

عنوان مقالات

تأثیر آفت‌کش‌های شیمیایی بر پویایی جمعیت، غنای گونه ای و تنوع زیستی علف‌های هرز و عملکرد گندم زمستانه..... ۳۶۳
حسین کریم پور، احمد نظامی، مهدی نصیری محلاتی، امیر لکزیان و محمد فارسی

ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد کشت مخلوط گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) و چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در سطوح مختلف نیتروژن..... ۳۸۳
محمد ناصر مودودی، وحید شمس آبادی و ابراهیم جهانگیر دهبرزویی

تأثیر نظام‌های مختلف کشت بر رشد گیاهچه و ویژگی‌های کمّی و کیفی برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط خزانه و مزرعه..... ۴۰۵
امید منعمی امیری، سرور خرم دل، علیرضا کوچکی و نورمن آپ هاف

مطالعه صفات ریخت‌شناسی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت اثر تاریخ کشت در شرایط دیم..... ۴۲۳
اسمعیل نبی‌زاده، سامان یزدان‌ستا، رحیم سرخوش و خدیجه احمدی

ارزیابی نوع آرایش کاشت و مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز بر جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سیستم‌های زراعی لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)..... ۴۴۱
محمد کعبی، اسفندیار فاتح، امیر آینه بند و عادل رفعت جو

ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های سودمندی اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.) و بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) در سیستم کشت مخلوط افزایشی ۴۵۷
مهرانگیز جوکار تنگ کرمی، جواد طایی سمیرمیو تادیا بهره مند

بررسی اثر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید بر ویژگی‌های مورفولوژیک، اجزای عملکرد، عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب در لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto)..... ۴۷۵
سولماز سامفر، حجت‌اله لطیف‌منش، علی مرادی، امین میرشکاری، حمید اله‌دادی و آذر رزاق‌نسب

ارزیابی خصوصیات کیفی و عملکرد برخی از ارقام تجاری چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در استان همدان (نهاوند و اسدآباد) ۴۹۳
حامد منصوری ، ولی اله یوسف آبادی، حمزه حمزه و حیدر عزیزی

اثر نسبت‌ها و روش‌های کاشت بر عملکرد و برخی از ویژگی‌های سیر (*Allium sativum* L.) در کشت مخلوط با سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)..... ۵۱۱
فیروز داروفروش، علیرضا ابدالی مشهدی، عبدالمهدی بخشنده، امین لطفی جلال آبادی و علی قاطع

نشریه بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)
دانشگاه فردوسی مشهد

با شماره پروانه ۸۹/۲۲۵۱۵ مورخه ۸۹/۹/۲۸ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی
درجه علمی پژوهشی شماره ۸۹/۳/۱۱/۵۲۴۷۹ مورخه ۸۹/۹/۸ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال ۱۳۹۸ ، کلیه نشریات دارای درجه" علمی -پژوهشی "به نشریه" علمی "تغییر نام یافتند.

جلد۱۷ شماره۳ پاییز ۱۴۰۴

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد
مدیر مسئول: دکتر بهنام کامکار، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
سردبیر: دکتر پرویز رضوانی مقدم، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
مدیر داخلی: دکتر سرور خرم‌دل، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیئت تحریریه (به‌ترتیب حروف الفبا)

دکتر امیربهزاد بذرگر، دانشگاه گوئلف، کانادا
دکتر مرتضی برمکی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی
دکتر محمد پسرکلی، استاد پژوهشی، دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه آریزونا
دکتر همت اله پیردشتی، استاد، دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی ساری
دکتر امیرحجارپور، پژوهشگر، دانشگاه جولیوس کوهن، آلمان
دکتر سرور خرم دل، دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر عادل دباغ محمدی نسب، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
دکتر مهدی راستگو، استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر پرویز رضوانی مقدم، استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر احمد زارع فیض آبادی، استاد، مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی
دکتر سعید زهتاب سلماسی، استاد، دانشگاه نیو مکزیکو، ایالات متحده آمریکا
دکتر حمید شاهنده، پژوهشگر علوم خاک، گروه علوم خاک و گیاهان زراعی، دانشگاه تگزاس A & M
دکتر امید عبدی، گروه علوم جنگل، دانشگاه هلسینکی، فنلاند
دکتر فرشید قادری فر، استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر منصور قربانپور، استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک
دکتر بهنام کامکار، استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمدرضا مرادی تلاوت، استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
دکتر احمد مصدق منشادی، دانشیار،گروه علوم زراعی، دانشگاه منابع طبیعی و علوم زیستی، وین
دکتر مهدی نصیری محلاتی، استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، دفتر نشریه بوم شناسی کشاورزی، صندوق پستی: ۱۱۶۳-۹۱۷۷۵
تلفن: ۳۸۸۰۴۶۵۴-۰۵۱ **نمابر:** ۳۸۷۸۷۴۳۰-۰۵۱
پست الکترونیکی: agroecology@um.ac.ir **آدرس سایت:** https;//agry.um.ac.ir

این نشریه در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:
DOAJ, CABI, Google Scholar, AGRIS, Internet Archive, Ebsco, Europub
پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC) ، بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

مقالات این شماره در سایت https://agry.um.ac.ir به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

تأثیر آفت‌کش‌های شیمیایی بر پویایی جمعیت، غنای گونه ای و تنوع زیستی علف‌های هرز و عملکرد گندم زمستانه ۳۶۳
حسین کریم پور، احمد نظامی، مهدی نصیری محلاتی، امیر لگزیان و محمد فارسی

ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد کشت مخلوط گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) و چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در سطوح مختلف نیتروژن ۳۸۳
محمد ناصر مودودی، وحید شمس آبادی و ابراهیم جهانگیر دهبرزویی

تأثیر نظام‌های مختلف کشت بر رشد گیاهچه و ویژگی‌های کمّی و کیفی برنج (Oryza sativa L.) در شرایط خزانه و مزرعه ۴۰۵
امید منعمی امیری، سرور خرم دل، علیرضا کوچکی و نورمن آپ هاف

مطالعه صفات ریخت‌شناسی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت اثر تاریخ کشت در شرایط دیم ۴۲۳
اسمعیل نبی‌زاده، سامان یزدان‌ستا، رحیم سرخوش و خدیجه احمدی

ارزیابی نوع آرایش کاشت و مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز بر جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سیستم‌های زراعی لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) ۴۴۱
محمد کعبی، اسفندیار فاتح، امیر آینه بند و عادل رفعت جو

ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های سودمندی اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.) و بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) در سیستم کشت مخلوط افزایشی ۴۵۷
مهرانگیز جوکار تنگ کرمی، جواد طایی سمیرمیو نادیا بهره مند

بررسی اثر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید بر ویژگی‌های مورفولوژیک، اجزای عملکرد، عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب در لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto) ۴۷۵
سولماز سامفر، حجت‌اله لطیف‌منش، علی مرادی، امین میرشکاری، حمید اله‌دادی و آذر رزاق‌نسب

ارزیابی خصوصیات کیفی و عملکرد برخی از ارقام تجاری چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در استان همدان (نهاوند و اسدآباد) ۴۹۳
حامد منصوری ، ولی اله یوسف آبادی، حمزه حمزه و حیدر عزیزی

اثر نسبت‌ها و روش‌های کاشت بر عملکرد و برخی از ویژگی‌های سیر (*Allium sativum* L.) در کشت مخلوط با سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) ۵۱۱
فیروز داروفروش، علیرضا ابدالی مشهدی، عبدالمهدی بخشنده، امین لطفی جلال آبادی و علی قاطع

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 3, 2025, p. 361-379

Effects of Chemical Pesticides on Weeds Population Dynamics, Species Richness and Biodiversity and Yield of Winter Wheat

Hossein Karimpour[1], Ahmad Nezami[1*], Mehdi Nassiri Mahallati[1], Amir Lakzian[2] and Mohammad Farsi[3]

1- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Department of Biotechnology and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding author's Email: nezami@um.ac.ir

Received: 01-02-2019
Revised: 06-03-2019
Accepted: 06-03-2019
Available Online: 26-11-2025

How to cite this article:
Karimpour, H., Nezami, A., Nassiri Mahallati, M., Lakzian, A., & Farsi, M. (2024). Effects of chemical pesticides on weeds population dynamics, species richness and biodiversity and yield of winter wheat. *Journal of Agroecology, 17*(3), 361-379. (In Persian with English abstract) .https://doi.org/10.22067/agry.2025.47471

Introduction

Competition between wheat (*Triticum aestivum* L.) and weeds is one of the most important restrictions of global production of this plant, and Human solutions for management of pests and weeds have destroyed the biodiversity in agroecosystems (Bushong et al., 2011; Lemerle et al., 2001). The function of natural and agricultural ecosystems is based on biodiversity. Destruction of biodiversity is a serious threat to the sustainability of agricultural ecosystems and, ultimately, food security in the world. Use of pesticides and chemical fertilizers is one of the most important methods of intensive management in agriculture that damages biodiversity (Marshal et al., 2003).

Materials and Methods

A factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications in two years of 2012-13 and 2013-14. The test factors included pesticides at three levels (Non insecticide, Deltamethrin as a general insecticide and Phyenrythion as a specific insecticide) and Herbicide on four levels (Non herbicide, two herbicides 2,4.D , Topic and the combination of them) was carried out. Weeds were sampled 5 times during the growing season, and Weed species were identified and counted. Sampling was performed before and after the treatment. Relative density and relative frequency of weeds, weed Species, Shannone diversity index, Species reachness and wheat yield were studied.

Results and Discussion

Data analysis showed that in both years, the effect of herbicides on the weed density and dry weight of broad-leaf weeds and total weed dry weight were significant. However, the effects of pesticide treatments on the density and dry weight of weeds were not significant. In both crop years, the use of two herbicide mixtures had

Authors retain the copyright.This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

https://doi.org/10.22067/agry.2025.47471

the greatest effect on reducing the density and dry weight of broadleaved weeds and total weed dry weight. The highest Shanone diversity index was observed in non-herbicide treatments in 2012-13, which had a significant difference with other treatments. The highest Shannon diversity index was observed in the control plots, and the lowest Shannon diversity index were observed in the combined treatments of both herbicides in the 2013-14 crop year. It seems that the combination of both herbicides, in addition to dry weight and density, has the greatest impact on weed species diversity. The species observed in both years were similar to each other. The main weed species of the field included *Convolvulus arvensis* L. ،*Descurainia sophia* Webb ex Prantl ، *Avena ludoviciana* Durieu, and *Secale cereale* L. The contribution of grass species to the total density was 30% and the share of broad-leaf weed was measured at 70%. Therefore, the frequency of broadleaved species was higher than that of grass weeds in the field. Herbicides changed the demographic structure of weed societies and reduced the weed biodiversity index. In both years, different treatments of pesticides did not have a significant effect on the changes in weed density. The effect of herbicides in both years and the effect of pesticides only in the 2013-2014 on the yield of wheat were significant. The application of pesticides significantly increased the economic yield of wheat. However, increasing the density and dry weight of the weed decreased wheat economic yield. Wheat economic yield decreased with increase in weed density and weed dry weight.

Conclusion

Herbicides have changed the population structure of weeds and reduced the biodiversity index of weeds. Negative and significant correlations were observed between wheat yield and species richness and shannon diversity index in both years. In general, Intensive management, specially herbicide usage in wheat agroecosystem, changed the composition of the plant communities and reduced the biodiversity and weed species richness. The result of the reduction in diversity in this ecosystem is a greater dependence on chemical inputs, which causes environmental pollution and a threat to agricultural sustainability.

Keywords: Conventional Agriculture, Herbicide, Insecticide

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱٤۰٤، ص ۳۷۹-۳٦۱

تأثیر آفت‌کش‌های شیمیایی بر پویایی جمعیت، غنای گونه ای و تنوع زیستی علف‌های هرز و عملکرد گندم زمستانه

حسین کریم پور[۱]، احمد نظامی[۱*]، مهدی نصیری محلاتی[۱]، امیر لگزیان[۲] و محمد فارسی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۵

چکیده

رقابت بین گندم (*Triticum aestivum*) و علف‌هرز از مهم‌ترین محدودیت‌های تولید جهانی این گیاه محسوب می‌شود و راهکارهای مدیریتی بشر برای مدیریت آفات و علف‌های‌هرز سبب نابودی تنوع زیستی بوم‌نظام‌های کشاورزی شده است. به‌منظور مطالعه تأثیر مدیریت شیمیایی بر جمعیت علف‌های هرز و عملکرد گندم زمستانه، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی۹۲- ۱۳۹۱ و ۹۳- ۱۳۹۲ اجرا شد. عوامل آزمایش شامل آفت‌کش در سه سطح (شاهد محلول‌پاشی با آب، حشره‌کش عمومی دلتامترین و حشره‌کش اختصاصی سن گندم فینیتریتیون) و علف‌کش در چهار سطح (شاهد محلول‌پاشی با آب، علف‌کش پهن‌برگ‌کش توفوردی، علف‌کش باریک‌برگ‌کش تاپیک و تلفیق دو علف‌کش توفوردی + تاپیک) بودند. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که در هر دو سال آزمایش تأثیر علف‌کش بر تراکم و وزن خشک علف‌های‌هرز پهن‌برگ و کل علف‌های‌هرز معنی‌دار بود، امّا تیمارهای آفت‌کش بر تراکم و وزن خشک علف‌های‌هرز تأثیر معنی‌داری نداشتند. همچنین در هر دو سال زراعی، کاربرد مخلوط علف‌کش کلودینافوپ پروپارژیل + توفوردی، بیشترین تأثیر را در کاهش تراکم و وزن خشک علف‌های‌هرز پهن‌برگ و کل علف‌های‌هرز نشان داد. بالاترین شاخص تنوع شانون در سال زراعی ۹۲- ۱۳۹۱ در تیمارهای بدون علف‌کش دیده شد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. در سال زراعی ۹۳- ۱۳۹۲ نیز بیشترین شاخص تنوع شانون در شاهد و کمترین شاخص تنوع زیستی در تیمارهای استفاده تلفیقی از هر دو علف‌کش مشاهده شد. به نظر می‌رسد که تلفیق دو نوع علف‌کش علاوه‌بر وزن خشک و تراکم، بیشترین تأثیر را بر تنوع گونه‌ای علف‌های هرز نیز داشته است. اثر علف‌کش در هر دو سال و همچنین اثر آفت‌کش فقط در سال زراعی ۹۳- ۱۳۹۲ بر عملکرد گندم معنی‌دار بود. کاربرد آفت‌کش‌ها باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد، امّا با افزایش تراکم و وزن خشک علف‌های هرز، عملکرد دانه گندم کاهش یافت. علف‌کش‌ها موجب تغییر در ساختار جمعیتی علف‌های‌هرز شده و کاهش شاخص‌های تنوع زیستی آن‌ها را به دنبال داشتند. در هر دو سال آزمایش، بین عملکرد گندم و غنای گونه‌ای علف‌های‌هرز و همچنین شاخص تنوع شانون، همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: حشره کش، علف‌کش، کشاورزی رایج

۱- گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: nezami@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2025.47471

مقدمه

مدیریت فشرده بوم‌نظام‌های کشاورزی در طول نیم قرن گذشته باعث نابودی تنوع زیستی بسیاری از گیاهان و جانوران گردیده و به دنبال آن، خدمات بوم‌نظام به‌شدت تحت تأثیر قرار گرفته است، زیرا مزارع کشاورزی از جمله زیستگاه‌های مهم گونه‌های گیاهی و جانوری قلمداد می‌شوند (Requier et al., 2015). کارکرد بوم‌نظام‌های طبیعی و کشاورزی بر تنوع زیستی استوار است و نابودی تنوع زیستی تهدیدی جدی برای پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی و در نهایت، امنیت غذایی جهان محسوب می‌شود (Swift & Anderson, 1993;Thrupp, 1998). سرعت نابودی گونه‌های گیاهی و جانوری در اثر فعالیت‌های انسان، به‌ویژه کشاورزی و صنعتی بالا بوده و این موضوع کارکرد نظام‌های اکولوژیک را به مخاطره انداخته است (Pimentel et al., 1992). به همین جهت، مطالعه تنوع زیستی کشاورزی و حفاظت از آن مورد توجه بوم‌شناسان کشاورزی بوده و از ابعاد مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (Pimentel et al., 1992; Stocking, 1999).

رقابت بین گندم (*Triticum aestivum*) و علف‌هرز از مهم‌ترین محدودیت‌های تولید جهانی این گیاه محسوب می‌شود (Bushong et al., 2011; Lemerle et al., 2001). علف‌های‌هرز به‌طور مستقیم برای کسب نور، مواد غذایی و رطوبت خاک با گیاهان زراعی رقابت می‌کنند و علاوه‌بر کاهش محصول، بر کیفیت محصول نیز اثر منفی گذاشته و باعث افزایش هزینه‌های تولید می‌شوند (Auskarniene et al., 2010). اثر مخرب رقابت علف هرز با گیاه زراعی از دیرباز به‌عنوان جزئی نامطلوب در بوم‌نظام‌های کشاورزی شناخته شده و یکی از اصلی‌ترین عوامل کاهش‌دهنده میزان محصول به‌شمار می‌روند (Minbashi & Norouzzadeh, 2012). تلفات عملکرد ناشی از علف‌های‌هرز، ۱۰ تا ۱۵ درصد عملکرد قابل حصول محصولات زراعی ذکر شده است که این خسارت در کشورهای در حال توسعه بیش از کشورهای توسعه یافته است (Salehian et al., 2003). در ایران میانگین کاهش عملکرد گندم، ناشی از رقابت با علف‌های‌هرز حدود ۳۰ درصد ذکر شده است (Zand et al., 2008). با وجود این، علف‌هرز به‌عنوان یکی از اجزاء مکمل بوم‌نظام‌های کشاورزی محسوب می‌شود. نقش علف‌های‌هرز در ایجاد و توسعه تنوع در نظام‌های کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا گیاهان زراعی با بسیاری از آن‌ها رابطه خویشاوندی داشته و تبادل ژنتیکی بین آن‌ها صورت می‌پذیرد. از طرفی، جوامع علف‌های‌هرز زیستگاهی برای زندگی و تکثیر شکارچیان طبیعی آفات گیاهان زراعی، پرندگان و پستانداران کوچک می‌باشند (Altieri, 1999).

از اواخر دهه ۱۹۸۰ تأثیر مواد شیمیایی بر تنوع زیستی مورد توجه قرار گرفته و با گذشت زمان، استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مدرن و دقیق‌تر ادامه گسترش یافته است (Attwood et al., 2008)، زیرا از مهم‌ترین روش‌های مدیریت فشرده در کشاورزی، استفاده از سموم و کودهای شیمیایی است که بیش از عوامل دیگر به تنوع زیستی مزارع لطمه‌زده است. مارشال و همکاران (Marshall et al., 2003)، مدیریت فشرده مزارع غلات را عامل کاهش تنوع زیستی گیاهان، حشرات و عنکبوتیان این مزارع دانسته‌اند، به‌طوری‌که در مطالعات آنان، اصلی‌ترین عامل کاهش تنوع زیستی گیاهان، کود نیتروژنه و خاکورزی عنوان شده‌است. برخی محققان نیز کاهش تنوع زیستی گیاهان (علف‌هرز و گیاهان حاشیه‌ای) مزرعه گندم را عامل کاهش دشمنان طبیعی و پارازیتوئیدهای مزرعه گندم دانسته‌اند.

مصرف علف‌کش‌ها از عوامل تغییر ترکیب جوامع علف‌هرز می‌باشد، به‌طوری‌که براساس مطالعه مانلی و همکاران (Manley et al., 2002) با استفاده مداوم از یک نوع علف‌کش، ترکیب علف‌های هرز از گونه‌های حساس به علف‌کش به گونه متحمل‌تر تغییر می‌یابند. استفاده از علف‌کش کلودینافوپ پروپاژیل (تاپیک) و توفوردی اثر معنی‌داری بر ترکیب جمعیت علف‌های‌هرز داشتند (Nekahi et al., 2014). مطالعه ویسی و همکاران (Veisi et al., 2014) بر روی تأثیر عوامل مختلف مدیریت زراعی بر پراکنش علف‌های هرز نشان داد که ۵۷ درصد از واریانس پراکنش گونه‌ای علف‌های هرز تحت تأثیر تناوب زراعی، ۷۴/۹ درصد تحت تأثیر ترکیب علف‌کش باریک‌برگ و ۵۸/۳ درصد تحت تأثیر علف‌کش پهن‌برگ بود. صالحیان و همکاران (Salehian et al., 2003)، سهم گونه‌های علف‌های‌هرز را در کاهش عملکرد گندم ارزیابی و عنوان نمودند که برخی گونه‌های علف‌هرز به‌واسطه تأثیر بازدارندگی بر گونه‌هایی که شدت رقابتی بالایی با گندم دارند اثرات مثبتی بر روی عملکرد گندم دارند.

بررسی باغستانی میبدی و همکاران (Baghestani Meybodi et al., 2003) نشان داد که رقابت علف‌های‌هرز و گندم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک گندم داشته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مهم‌ترین مشکل مدیریت علف‌های‌هرز در مزارع گندم در چهار

استان تهران، خراسان رضوی، اصفهان و لرستان مبارزه دیر با علف‌های‌هرز، عدم کاربرد صحیح علف‌کش‌ها و عدم آگاهی به‌میزان خسارت علف‌های‌هرز می‌باشد (Minbashi Moeini, 2009). مطالعه نوروززاده و همکاران (Norozzadeh et al., 2008) بر روی ساختار جوامع علف‌های هرز ۲۵۹ مزرعه گندم در سطح استان‌های خراسان نشان‌دهنده ۱۲۰ گونه علف‌هرز از ۲۶ خانواده در این مزارع می‌باشد که خانواده کاسنی (Asteraceae) با ۲۰ گونه و خانواده گندمیان (Poaceae) با ۲۵ گونه، بیشترین غنای گونه‌ای دولپه و تک‌لپه را دارا بودند. در مطالعه ایشان، بیشترین شاخص شانون و سیمپسون در اسفراین به‌ترتیب معادل ۲/۹۳ و ۱ اندازه‌گیری شد.

با وجود اینکه علف‌های هرز به‌طور بالقوه تولیدات گیاهی را کاهش می‌دهند (Petit et al., 2011)، ولی در حفظ تنوع زیستی مزرعه نقش مهمی دارند (Requier et al., 2015).

با توجه به مصرف وسیع سموم شیمیایی در زراعت گندم و کشت گسترده این محصول در کشور، مطالعه تأثیر سموم شیمیایی و باقی مانده آن‌ها بر هر یک از اجزاء بوم‌نظام‌های زراعی با اهمیت به نظر می‌رسد. لذا، در این آزمایش تأثیر دو نوع علف‌کش و دو نوع آفت‌کش که بیشترین مصرف را در مزارع گندم دارند بر جمعیت و تنوع زیستی علف‌های هرز و عملکرد گندم مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال‌های زراعی ۹۲- ۱۳۹۱ و ۹۳- ۱۳۹۲ اجرا شد. این مزرعه در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا واقع شده است. براساس آمار هواشناسی استان خراسان رضوی، میانگین بارش ایستگاه سینوپتیک فرودگاه مشهد در سال آبی ۹۱- ۱۳۹۲ در مجموع ۲۶۲ میلی‌متر و در سال زراعی۹۲- ۱۳۹۳ در مجموع ۱۸۰/۲ میلی‌متر بود.

با توجه به آیش بودن مزرعه، به‌منظورآماده‌سازی بستر کاشت یک مرحله شخم برگردان دار به‌عمق ۳۰ سانتی‌متر و دو مرحله دیسک عمود بر هم در زمین اجرا شد، همچنین قبل از کاشت نمونه خاک مزرعه مورد آزمایش قرار گرفت (جدول ۱). با توجه به آیش بودن مزرعه و نیز پیشگیری از اثر کودهای شیمیایی و آلی بر نتایج مطالعات، هیچ‌گونه کود آلی یا شیمیایی در زمین اعمال نشد.

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه قبل از کاشت سال اول

Table 1- Some chemical properties of the soil in the experiment site before the planting of the first year

نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل‌دسترس Available P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل‌دسترس Available K ($mg.kg^{-1}$)	اسیدیته pH	مقدار ماده آلی (%) Organic Carbon (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS \cdot m^{-1}$)
0.072	22.5	143	8.01	0.71	1.5

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار فاکتورهای آزمایش شامل آفت‌کش در سه سطح (شاهد محلول‌پاشی با آب، حشره‌کش عمومی دلتامترین[1] و حشره‌کش اختصاصی سن گندم فینیتریتیون[2]) و علف‌کش در چهار سطح (شاهد محلول‌پاشی با آب، علف‌کش پهن‌برگ‌کش توفوردی[3]، علف‌کش باریک‌برگ‌کش تاپیک[4] و تلفیق دو علف‌کش توفوردی + تاپیک) بودند. تیمارهای علف‌کش در ابتدای ساقه رفتن در تاریخ ۲۶ فروردین در هر دو سال با غلظت توصیه شده به‌صورت محلول پاشی یک مرحله در کرت‌های مربوطه اعمال شد. همچنین تیمارهای حشره‌کش نیز در مرحله سنبله رفتن در تاریخ ۲۹ اردیبشت در هر دو سال اجرا گردید. شاهد نیز همزمان به‌وسیله سم‌پاش با آب محلول‌پاشی شد.

تاریخ کاشت در سال‌های اول ۱۳۹۱/۰۸/۰۱ و در سال دوم ۱۳۹۲/۰۸/۰۳ بود. بذر گندم رقم گاسکوژن در کلیه کرت‌های آزمایشی به‌طور همزمان کشت شد. در هر کرت، ۱۲ ردیف کاشت

۱- از گروه شیمیایی پرتروید و برای مبارزه عمومی با آفات مزارع گندم

۲- از گروه شیمیایی ارگانوفسفره بوده و برای مبارزه اختصاصی با سن گندم

۳- علف‌کش سیستمیک پس از رویشی، مهارکننده گیاهان پهن‌برگ با نام تری بنورون متیل از گروه شیمیایی سولفینیل اوره

۴- علف‌کش سیستمیک پس از رویشی، مهارکننده علف‌های هرز باریک برگ مزارع گندم با نام شیمیایی کلودینانوپ پاروپارزیل

به‌فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر ایجاد گردید. ابعاد هر کرت آزمایشی ۶ × ۵ متر بود و بذور در دو طرف پشته‌ها و در عمق ۲-۳ سانتی‌متر، کشت شدند. تراکم کاشت مطابق خصوصیات رقم ۵۰۰ بوته در مترمربع تعیین گردید. جهت جلوگیری از انتقال اثر تیمارها به کرت‌های مجاور(Banks & Stark, 2004Kurtz & Street, 2003 ;) فاصله بین کرت‌ها دو متر و فاصله بین بلوک‌ها سه متر در نظر گرفته شد. آبیاری به‌صورت جوی و پشته بوده و آب آبیاری در هر کرت به‌صورت مستقل بوده و با سایر کرت‌ها مخلوط نشد. به‌جز مدیریت آفات و علف‌های‌هرز، سایر مراحل عملیات داشت در کلیه تیمارها به‌صورت یکسان اجرا شد. عملیات آماده‌سازی زمین در سال دوم همانند سال اول انجام و تیمارها در محل کرت‌های سال گذشته کشت گردیدند.

به‌منظور مطالعه جمعیت علف‌های هرز در هر دو سال نمونه‌برداری در تاریخ‌های هشتم آبان، ۱۵ اسفند، ۲۵ فروردین (یک روز قبل از اعمال تیمار علف‌کش)، ۲۹ فروردین (سه روز پس از اعمال تیمار علف‌کش)، ۱۳ اردیبهشت، ۲۸ اردیبهشت (یک روز قبل از اعمال تیمار آفت‌کش)، دوم خرداد (سه روز پس از اعمال تیمار آفت‌کش) و ۱۷ خرداد صورت پذیرفت. نمونه‌گیری در هر یک از مراحل فوق با استفاده از سه کوادرات ۰/۵ × ۰/۵ مترمربع به‌صورت تصادفی انجام شد. در هر نمونه‌برداری، گونه‌های علف‌های هرز شناسایی و شمارش شدند. سپس به‌طور جداگانه در آون (به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد) خشک و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید. در پایان فصل رشد به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه، نیمی از هر کرت پس از حذف حاشیه‌ها برداشت شد.

تراکم نسبی و فراوانی نسبی علف‌های هرز به‌تفکیک گونه بر طبق معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه شد (Nkoa et al., 2015). تراکم نسبی در واقع نسبتی از واحد نمونه‌برداری می‌باشد که توسط گونه مورد نظر اشغال شده است. فراوانی نسبی بیان‌کننده نسبتی از واحدهای نمونه‌برداری در آزمایش می‌باشد که گونه مورد نظر در آن موجود می‌باشد.

$$D = \frac{(\sum Y_i)}{S} \times 100$$

معادله (۱)

$$F = \frac{(\sum Z_i)}{n} \times 100$$

معادله (۲)

که در آن‌ها، D: تراکم نسبی گونه علف هرز مورد نظر، $\sum Y_i$: مجموع تعداد بوته گونه علف هرز (i=۱،۲،۳...n)، S: تعداد کل بوته‌های علف هرز، F: فراوانی نسبی گونه علف هرز مورد نظر، $\sum Z_i$: مجموع تعداد کادرهای نمونه‌برداری حاوی گونه علف هرز مورد نظر، و n: تعداد کل کادرهای نمونه‌برداری می‌باشد. همچنین تراکم متوسط[1] گونه‌های علف هرز با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد (Nkoa et al., 2015).

$$MD = \frac{(\frac{\sum X_i}{N})}{A}$$

معادله (۳)

که در آن، MD: تراکم گونه علف هرز مورد نظر در واحد سطح (مترمربع)، $\sum X_i$: مجموع تعداد بوته گونه علف هرز در کادرهای نمونه‌برداری (i=۱،۲،۳...n)، N: تعداد کادرهای نمونه‌برداری و A: مساحت کادر می‌باشد.

به‌منظور تعیین تنوع زیستی علف‌های هرز، غنای گونه‌ای (تعداد گونه‌های علف هرز) و تنوع شانون (معادله ۴) برای هر یک از کرت‌های آزمایشی در هر نمونه‌برداری محاسبه شد.

$$H = -\sum_{i=1}^{S}\left[\frac{n_i}{N}\right]\left[\ln\frac{n_i}{N}\right]$$

معادله (۴)

که در آن، H: شاخص شانون، n_i: تعداد افراد هر گونه و N: تعداد کل افراد در هر کرت می‌باشد. نسبت n_i/N: نشان‌دهنده فراوانی نسبی یک گونه است.

نتایج هر سال به‌طور مجزا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. جهت تجزیه واریانس برای صفات تراکم و وزن خشک علف‌های هرز با تبدیل لگاریتمی داده‌ها نرمال شدند.

نتایج و بحث

متغیرهای جامعه علف‌های هرز: فلور علف‌های هرز مزرعه گندم برای هر دو سال آزمایش به همراه مشخصات عمومی آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. گونه‌های ثبت شده برای هر دو سال آزمایش مشابه یکدیگر بود، منتها از لحاظ فراوانی و تراکم نسبی تفاوت داشتند. در هر دو سال، از مجموع ۱۲ گونه علف هرز از هفت

1- Mean density

خانواده گیاهی، ۱۱ گونه یک‌ساله (۹۱ درصد) و تنها پیچک مزرعه‌ای به‌عنوان گونه چندساله حضور داشت. همه گونه‌های علف هرز ثبت شده دارای مسیر فتوسنتزی سه کربنه (C_3) بودند. با توجه به چرخه زندگی گیاه زراعی (یک گونه یک‌ساله زمستانه)، واضح است که بخش عمده علف‌های مختص این مزارع از گونه‌های با مسیر فتوسنتزی سه کربنه باشند.

در سال زراعی ۹۲- ۱۳۹۱، بیشترین تراکم نسبی (۱۷/۶) برای خاکشیر ایرانی ثبت شد، امّا فراوانی نسبی پیچک مزرعه‌ای نسبت به آن بیشتر بود. پیچک مزرعه‌ای با فراوانی نسبی ۴۸/۳ درصد، در حدود نیمی از کادرهای نمونه‌برداری مشاهده شد، درصورتی‌که عمده گونه‌ها فراوانی نسبی پایین‌تر از ۳۰ درصد نشان دادند. به‌طور کلی، سهم گونه‌های باریک‌برگ از تراکم کل حدود ۳۰ درصد و سهم گونه‌های پهن‌برگ حدود ۷۰ درصد بود، که این نشان‌دهنده وفور بیشتر گونه-های پهن‌برگ نسبت به گونه‌های باریک‌برگ در مزرعه بود. در بین گونه‌های باریک‌برگ، گونه چاودار از فراوانی نسبی و تراکم نسبی بالاتری نسبت به دو گونه یولاف و علف‌پشمکی برخوردار بود. کمترین تراکم نسبی و فراوانی نسبی به‌ترتیب برابر ۰/۳ و ۱/۰ درصد، متعلق به گونه گاو چاق‌کن بود (جدول ۲).

جدول ۲- فهرست علف‌های هرز نمونه‌برداری شده به همراه مشخصات، تراکم نسبی و فراوانی نسبی آن‌ها در دو سال زراعی

Table2- List of weed species that were sampled with specification, relative density and relative abundance in two crop years of study

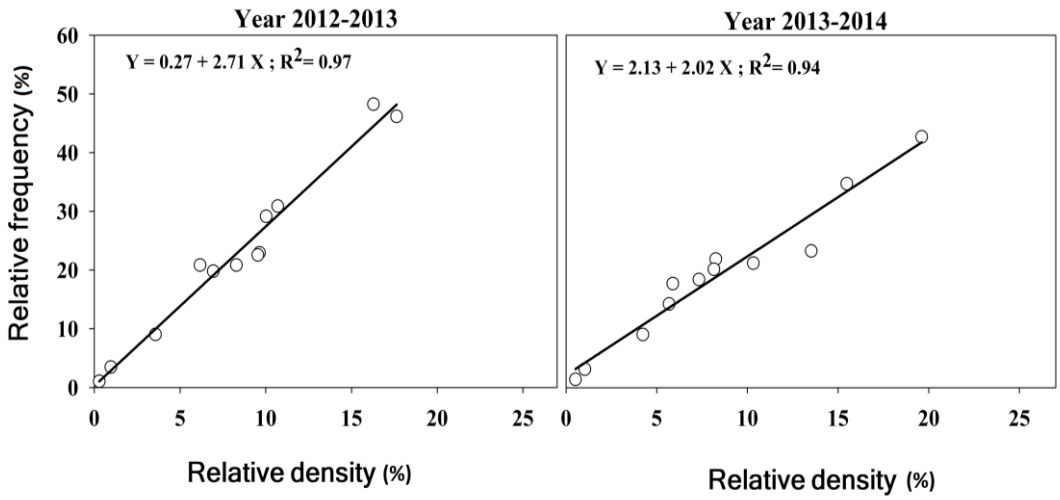
نام فارسی و نام علمی Scientific name and persian name	خانواده گیاهی Family	چرخه‌زندگی Life Cycle	فراوانی نسبی Relative abundance		تراکم نسبی Relative density	
			2012-13	2013-14	2012-13	2013-14
پیچک مزرعه‌ای *Convolvulus arvensis* L.	Convolvulaceae	perennial	48.3	42.7	16.3	19.6
خاکشیر تلخ *Sisymberium irio* L.	Brassicaceae	annual	30.9	21.9	10.7	8.3
خاکشیر ایرانی *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl	Brassicaceae	annual	46.2	34.7	17.6	15.5
سیزاب *Veronica persica* Poir.	Plantaginaceae	annual	22.9	20.1	9.6	8.2
درشتوک *Malcolmia africana* (L.) R.Br.	Brassicaceae	annual	20.8	17.7	6.2	5.9
‡گاو چاق کن *Lactuca serriola* L.	Asteraceae	annual	1.0	1.4	0.3	0.5
گندمک *Stellaria media* (L.) Vill.	Caryophyllaceae	annual	22.6	18.4	9.5	7.3
شاتره *Fumaria officinalis* L.	Papaveraceae	annual	19.8	14.2	6.9	5.7
شقایق *Glaucium* sp.	Papaveraceae	annual	3.5	3.1	1.0	1.0
یولاف وحشی *Avena ludoviciana* Durieu.	Poaceae	annual	20.8	21.2	8.3	10.3
علف پشمکی *Bromus japonicus* Thunb.	Poaceae	annual	9.0	9.0	3.6	4.2
چاودار *Secale cereale* L.	Poaceae	annual	29.2	23.3	10.0	13.5

‡ این گونه از نظر چرخه زندگی به‌صورت دوساله نیز در مزارع گیاهان زراعی چندساله مشاهده می‌شود.

‡This species is also seen on the fields as a Biennial plant

در سال زراعی ۹۳- ۱۳۹۲، تراکم نسبی و فراوانی پیچک مزرعه-ای به‌ترتیب ۱۹/۶ و ۴۷/۲ درصد نسبت به سایر گونه‌ها بالاتر بود. در این سال نیز نسبت گونه‌های پهن‌برگ (۷۱ درصد) به باریک‌برگ (۲۹ درصد) تقریباً مشابه سال زراعی ۹۲- ۱۳۹۱ بود. همچنین کمترین تراکم نسبی و فراوانی نسبی به‌ترتیب برابر ۰/۵ و ۱/۴ درصد، متعلق به گونه گاو چاق‌کن بود (جدول ۲). برای هر دو سال آزمایش می-توان عنوان کرد که جامعه اصلی علف‌های هرز مزرعه متشکل از چهار گونه پیچک مزرعه‌ای، خاکشیر، یولاف وحشی و چاودار تشکیل می‌دهد. مزارع گندم زمستانه ایران در دنیا نیز به داشتن چنین جوامع علف هرزی مشهور هستند (Kraehmer, 2016; Zand et al., 2017).

به‌طور متوسط برای کل گونه‌های علف هرز، فراوانی نسبی و تراکم نسبی رابطه مستقیم و خطی معنی‌داری نشان دادند (شکل ۱). به‌طور متوسط برای دو سال آزمایش، معادله خطی نشان داد که با یک واحد افزایش در تراکم نسبی علف‌های‌هرز، فراوانی نسبی آن‌ها حدود ۲/۵ برابر خواهد شد. بنابراین، نتایج نشان داده است که علف‌های هرزی که در کادرهای نمونه‌برداری بیشتر مشاهده شدند، از تراکم نسبی بالاتری نیز در واحد سطح برخوردار بودند. در جمعیت-های گیاهی در حال رقابت، تراکم نسبی بالای یک گونه در واقع نشان‌دهنده توانایی رقابتی بالاتر آن گونه در استقرار بوته‌های بالغ در سطح مزرعه است (Radosevich et al., 1997). این امر منجر به افزایش توزیع و گسترش آن در سطح مزرعه و همچنین در ادامه به افزایش تعداد واحد تکثیر شونده آن (بذر یا اندام‌های رویشی) می‌گردد. با این وجود، در این آزمایش گونه‌ای مشاهده نشد که در بیشتر از ۵۰ درصد کادرهای آزمایشی مشاهده گردد. علف‌های‌هرز عمدتاً به‌صورت لکه‌ای در مزارع مشاهده می‌شوند و این حالت برای گونه‌های چندساله که توسط اندام‌های رویشی تکثیر می‌شوند، مشهودتر می-باشد.(Cardina et al., 1997; Alizadeh et al., 2014) در این آزمایش نیز با توجه به فراوانی نسبی پایین‌تر از ۵۰ درصد برای همه گونه‌ها و همچنین مشاهدات مزرعه‌ای، علف‌های هرز دارای توزیع تصادفی در مزرعه بودند.



شکل ۱- رابطه بین فراوانی نسبی و تراکم نسبی علف‌های هرز ثبت شده در کادرهای نمونه‌برداری برای دو سال زارعی آزمایش

Fig. 1- Relationship between relative frequency and relative density of Weeds that sampled by quadrats in two years of study

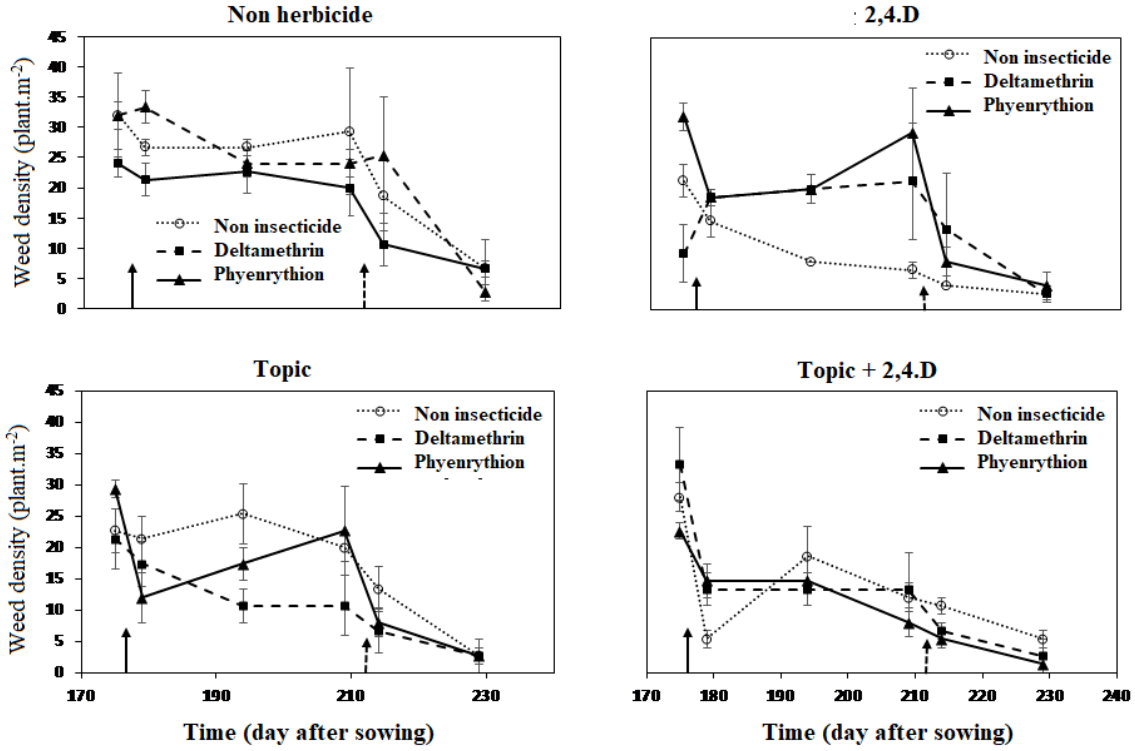
معادله خطی به همراه ضریب تبیین رگرسیون آن در شکل نشان داده شده است.

The linear equation with its coefficient of regression explanation is shown in Fig.

دو متغیر تراکم و فراوانی نسبی علف‌های هرز، از ابتدایی‌ترین و اصولی‌ترین متغیرهای جمعیت شناسی آن‌ها در اکوسیستم‌های کشاورزی می‌باشد، که در مطالعات مربوط به علف‌های هرز باید مورد توجه قرار بگیرد. این امر منجر به ترسیم دیدگاه کلی در رابطه با

جمعیت علف‌های هرز در طرح آزمایشی می‌گردد (Nkoa et al., 2015). همچنین رابطه بین این دو متغیر در نحوه توزیع علف‌های-هرز کمک بسیاری می‌کند. هرچند که گفته می‌شود، در اکوسیستم-های کشاورزی علف‌های‌هرز دارای توزیع تصادفی و آرایش لکه‌ای هستند (Radosevich et al., 1997)، امّا این امر همیشه صادق نیست. با این وجود، با توجه به نتایج حاضر که فراوانی نسبی بالاتر از ۵۰ درصد برای هیچ‌کدام از گونه‌های علف هرز مشاهده نشد، توزیع لکه‌ای صادق بوده است.

تغییرات تراکم علف‌های‌هرز نسبت به روزهای پس از کاشت، برای تیمارهای مختلف آزمایش در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. هرچند در برخی زمان‌های نمونه‌برداری، افزایش تراکم نسبت به مرحله قبلی خود مشاهده شد، امّا به‌طور کلی، چه در تیمارهای اعمال علف‌کش و چه در تیمار بدون علف‌کش، روند کاهشی تراکم علف‌های هرز دیده شد. مقدار این کاهش برای تیمار مخلوط علف‌کش کلودینافوپ پروپارژیل + توفوردی بیشتر از سایر تیمارهای علف‌کشی بود. در هر دو سال آزمایش، تیمارهای مختلف آفت‌کش تأثیر مشخصی بر روند تغییرات تراکم علف‌های هرز طی روزهای پس از کاشت نشان ندادند.

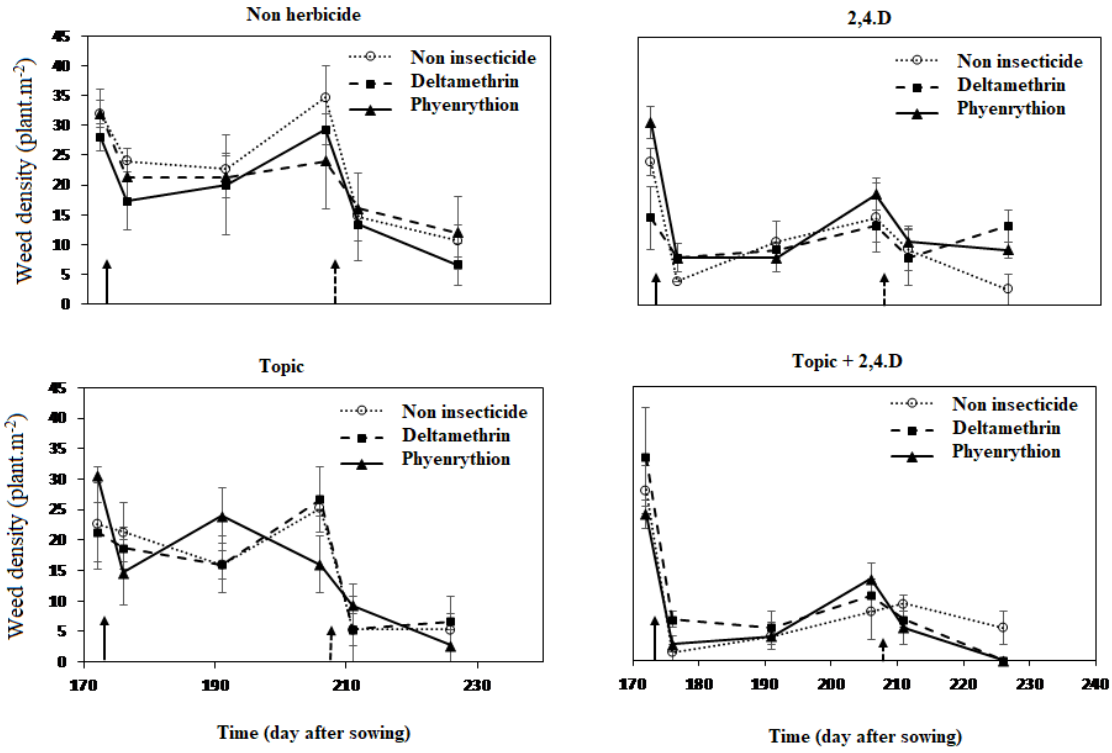


شکل ۲- تغییرات تراکم علف‌های هرز مزرعه تحت تأثیر علف‌کش و آفت‌کش‌های مورد بررسی در سال زراعی ۹۲- ۱۳۹۱

Fig. 2- Weed density changes in the field under treatments with herbicides and pesticides in 2011-2012

میله‌های عمودی روی نقاط نشانگر خطای استاندارد هستند. بر روی محور زمان، فلش با خط تیره نشان‌دهنده زمان پاشش علف‌کش و فلش با خط ممتد نشان‌دهنده زمان پاشش آفت‌کش می‌باشد.

Vertical bars on the points are standard error mark. On the axis of time, the arrow with a dash reflects the time of spraying herbicide and the arrow with a continuous line indicating the time of spraying the pesticide.



شکل ۳- تغییرات تراکم علف‌های هرز مزرعه تحت تأثیر علف‌کش و آفت‌کش‌های مورد بررسی در سال زراعی ۹۳- ۱۳۹۲

Fig. 3- Weed density changes in the field under treatments with herbicides and pesticides in 2013-2014

میله‌های عمودی روی نقاط نشانگر خطای استاندارد هستند. بر روی محور زمان، فلش با خط تیره نشان‌دهنده زمان پاشش علف‌کش و فلش با خط ممتد نشان‌دهنده زمان پاشش آفت‌کش می‌باشد.

Vertical bars on the points are standard error mark. On the axis of time, the arrow with a dash reflects the time of spraying herbicide and the arrow with a continuous line indicating the time of spraying the pesticide.

به‌دلیل شرایط مناسب جوانه‌زنی (آب و دما برای کلیه گونه‌ها و نور برای گونه‌های حساس به نور برای جوانه‌زنی) و موقعیت مکانی و عمق مناسب دانه‌ها در خاک، تعداد زیادی دانه جوانه می‌زند و تعداد گیاهچه‌های استقرار یافته در واحد سطح بالا می‌باشد (Radosevich et al., 1997). در ابتدا، به‌دلیل کوچکی بوته‌ها و نیاز کمتر به منابع محیطی و فراهمی این منابع، رقابت درون و بین‌گونه‌ای برای نور و دیگر منابع، شروع نشده و یا در سطح پایینی قرار دارد. با افزایش رشد گونه‌ها، شروع سایه‌اندازی و کاسته شدن از فراهمی منابع در خاک، سبب کاهش میزان دسترسی گیاه به منابع شده و شدت رقابت درون و بین‌گونه‌ای افزایش می‌یابد. با افزایش شدت رقابت، ابتدا سرعت رشد و تجمع ماده خشک کاسته شده و بوته‌های ضعیف دچار مرگ می‌شوند (Zimdal, 2007). کاهش رطوبت در لایه سطحی خاک و کاهش شدت نور و عمق نامناسب دانه‌های مانده در خاک، مانع از جوانه‌زنی و رویش علف‌های‌هرز می‌شود و در مجموع، مرگ‌ومیر بیشتر خواهد بود و در نتیجه، بزرگی جمعیت در گونه‌های علف هرز روند نزولی نشان خواهد داد (Zimdal, 2007).

تراکم و وزن خشک علف‌های هرز: در سال زراعی ۹۲- ۱۳۹۱، تأثیر علف‌کش تنها بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز پهن‌برگ و کل علف‌های هرز معنی‌دار بود. تیمارهای آفت‌کش بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). اثر متقابل علف‌کش و آفت‌کش تنها بر وزن خشک علف‌های هرز پهن‌برگ معنی‌دار بود. در سال زراعی ۹۳- ۱۳۹۲، اثر علف‌کش بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز باریک‌برگ، پهن‌برگ و کل علف‌های هرز معنی‌دار بود، ولی اثر آفت‌کش بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز معنی‌دار نبود. اثر متقابل علف‌کش و آفت‌کش تنها بر وزن خشک علف‌های هرز پهن‌برگ معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۳- منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات اثر آفت‌کش، علف‌کش و اثرات متقابل آن‌ها بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز در سال زراعی ۹۲- ۱۳۹۱

Table 3- Source of variation, degree of freedom and mean of square effects of pesticide, herbicide and their interactions on weed dry matter and density in 2012-2013

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن خشک علف هرز Weed dry matter			تراکم علف هرز Weed density		
		Total	broad-leaved weeds	Grass weeds	Total	broad-leaved weeds	Grass weeds
بلوک (Block)	2	0.01 (2.0)^{ns}	0.005 (0.2)^{ns}	(1.5)^{ns} 0.01	0.012 (2.5)^{ns}	0.007 (1.0)^{ns}	(3.2)^{ns} 0.005
آفت‌کش Insecticide (I)	2	0.01 (1/9)^{ns}	0.056 (1.9)^{ns}	(0.5)^{ns} 0.003	0.019 (3.9)^{ns}	0.02 (2.8)^{ns}	(5.4)^{ns} 0.01
علف‌کش Herbicide (H)	3	0.10 (29.0)*	0.53 (27.8)**	(8.6)^{ns} 0.04	0.06 (20.1)*	0.09 (20.1)*	(4.8)^{ns} 0.005
I × H	6	0.03 (18.5)^{ns}	0.34 (36.3)**	(19.4)^{ns} 0.04	0.04 (26.9)^{ns}	0.07 (29.6)^{ns}	(22.3)^{ns} 0.01
خطا Error	22	0.02 (48.6)	0.08 (33.8)	(70.0) 0.044	0.021 (46.6)	0.031 (46.5)	(64.3) 0.01
ضریب تغییرات CV (%)		7.6	19.8	11.3	10.2	14.3	8.2

جهت انجام تجزیه واریانس، تبدیل داده لگاریتمی انجام شد.

مقادیر داخل پرانتز نشان‌دهنده درصدی از کل واریانس تغییرات می‌باشد که به منبع تغییر مربوطه تعلق دارد.

ns، * و ** : به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌داری در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

جدول ٤- منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات اثر آفت‌کش، علف‌کش و اثرات متقابل آن‌ها بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز در سال زراعی ۹۳- ۱۳۹۲

Table 5- Source of variation, degree of freedom and mean of square effects of pesticide, herbicide and their interactions on weed dry matter and density in 2013-2014

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن خشک علف هرز Weed dry matter			تراکم علف هرز Weed density		
		Total	Broad-leaved weeds	Grass weeds	Total	Broad-leaved weeds	Grass weeds
بلوک Block	2	0.07 (8.1)^{ns}	0.07 (3.3)^{ns}	0.07 (10.8)^{ns}	0.03 (6.6)^{ns}	0.02 (2.9)^{ns}	0.04 (17.5)*
آفت‌کش Insecticide (I)	2	0.004 (0.5)^{ns}	0.12 (6.2)^{ns}	0.01 (2.1)^{ns}	0.001 (0.3)^{ns}	0.04 (6.7)^{ns}	0.01 (4.4)^{ns}
علف‌کش Herbicide (H)	3	0.3 (44.3)**	0.65 (47.2)**	0.11 (24.2)*	0.1 (45.8)**	0.2 (42.3)**	0.01 (26.1)*
I × H	6	0.03 (10.2)^{ns}	0.12 (17.9)*	0.01 (7.1)^{ns}	0.02 (12.7)^{ns}	0.04 (18.8)^{ns}	0.004 (0.6)^{ns}
خطا Error	22	0.03 (36.8)	0.047 (25.4)	0.03 (55.8)	0.01 (34.6)	0.02 (29.3)	51.4 (0.01)
ضریب تغییرات CV (%)		9.3	16.8	10.8	8.2	11.7	7.9

جهت انجام تجزیه واریانس، تبدیل داده لگاریتمی انجام پذیرفت.

مقادیر داخل پرانتز نشان‌دهنده درصدی از کل واریانس تغییرات می‌باشد که به منبع تغییر مربوطه تعلق دارد.

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌داری در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

For analysis of variance, data was converted by logarithmic method.

The values in brackets represent the percentage of the total variation variance that belongs to the respective change source.

**, * and ns are significant at of 5%, 1% probability level and no significant difference, respectively..

در سال زراعی ۹۲- ۱۳۹۱ کاربرد مخلوط علف‌کش کلودینافوپ پروپارژیل + توفوردی بیشترین تأثیر را در کاهش تراکم و وزن خشک علف‌های هرز پهن‌برگ و کل علف‌های هرز نشان داد. کاربرد این علف‌کش منجر به کاهش ۵۵ درصدی در تراکم و کاهش ۴۹ درصدی در وزن خشک کل علف‌های هرز نسبت به شاهد بدون علف‌کش شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد که اثر تلفیق دو نوع علف‌کش بر مهار علف‌های هرز مؤثرتر از اثر منفرد هر یک از آن‌ها بوده‌است. احتمالاً با توجه به رشد پنجه‌ها و افزایش تراکم ساقه‌های گندم، افزایش رقابت بر سر منابع و نامساعد شدن شرایط برای رشد در انتهای فصل رشد بر گونه‌های پهن‌برگ اثر بیشتری داشته و این شرایط سبب مهار جمعیت آن‌ها گردیده است. بنابراین، تیمارهای باریک‌برگ‌کش با مهار علف‌های هرز باریک‌برگ باقی‌مانده در مهار علف‌های هرز موفق‌تر عمل نموده و در نهایت، باعث کاهش وزن خشک علف‌های هرز در این تیمارها شده است.

جدول ۵- تأثیر کاربرد علف‌کش بر میانگین تراکم و وزن خشک علف‌های هرز پس از اعمال آن‌ها در سال زراعی ۹۲- ۱۳۹۱

Table 6- Effect of herbicide application on weed density and weed dry weight after treatment in 2012-2013

تیمار علف‌کش Herbicide	وزن خشک Dry matter ($g.m^{-2}$)			تراکم Density (plants per m^2)		
	Total	Broad-leaved weeds	Grass weeds	Total	Broad-leaved weeds	Grass Weeds
بدون علف‌کش No_herbicide	144.7 a	66.9 a	77.8 a	24.4 a	14.7 a	9.8 a*
توفوردی ***2,4-D***	106.2 ab	44.0 ab	62.2 a	19.1 ab	11.1 ab	8.0 a
کلودینافوپ پروپارژیل Topic	105.8 ab	26.2 bc	79.6 a	17.8 ab	8.0 ab	9.8 a
2,4-D + Topic	73.6 b	9.3 c	64.2 a	11.1 b	3.1 b	8.0 a

* میانگین‌های هر ستون با حداقل یک حرف مشترک، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)، در سطح اطمینان ۹۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر می‌باشند.

* Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using LSD Test.

جدول ٦- تأثیر علف‌کش بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز پس از اعمال آن‌ها در سال زراعی ۹۳- ۱۳۹۲

Table 6- Effect of herbicide application on weed density and weed dry weight after treatment in 2013-2014

تیمار علف‌کش Herbicide	وزن خشک Dry matter ($g.m^{-2}$)			تراکم Density (plants per m^2)		
	Total	Broad-leaved weeds	Grass weeds	Total	Broad-leaved weeds	Grass weeds
بدون علف‌کش No_herbicide	91.1 a	32.2 a	58.9 a	29.3 a	12.4 a	16.9 a*
توفوردی *2,4-D*	57.3 b	1.8 b	55.6 a	15.6 bc	1.0 b	14.7 a
کلودینافوپ پروپارژیل Topic	76.4 ab	32.0 a	44.4 ab	22.7 ab	11.1 a	11.6 ab
2,4-D + Topic	36.4 c	3.6 b	32.9 b	10.7 c	1.8 b	8.9 b

* میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)، در سطح اطمینان ۹۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر می‌باشند.

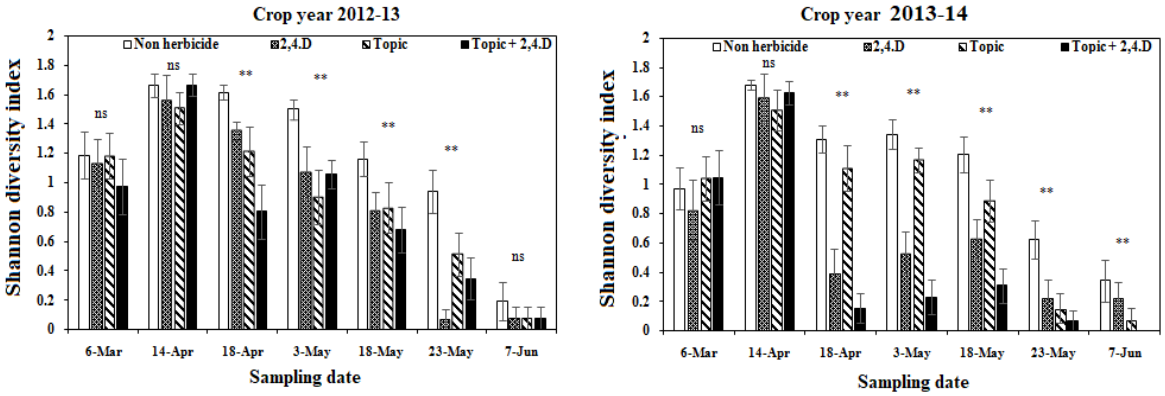
* Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using LSD Test.

در سال زراعی ۹۳- ۱۳۹۲، بیشترین تراکم و وزن خشک علف‌های هرز باریک‌برگ را شاهد بدون علف‌کش داشت وکاربرد مخلوط علف‌کش کلودینافوپ پروپارژیل + توفوردی، به‌ترتیب منجر به کاهش ۶۳ و ۶۰ درصدی تعداد بوته و وزن خشک آن‌ها نسبت به عدم کاربرد علف‌کش شد (جدول ۷). کاربرد علف‌کش توفوردی بیشترین تأثیر را در کاهش تراکم و وزن خشک علف‌های هرز پهن‌برگ نشان داد. کاربرد این علف‌کش به‌ترتیب منجر به کاهش ۹۲ و ۹۴ درصدی تعداد بوته و وزن خشک علف‌های هرز پهن‌برگ نسبت

به تیمار عدم کاربرد علف‌کش گردید (جدول ۶).

به نظر می‌رسد که تلفیق دو نوع علف‌کش با مهار هر دو طیف علف‌هرز باریک‌برگ و پهن‌برگ از طغیان یک گروه از آن‌ها جلوگیری نموده و اثر بهتری را در مهار علف‌های‌هرز داشته‌اند.گزارش شده است که اختلاط علف‌کش‌های توفوردی و تاپیک، علف‌های هرز مزارع گندم را به نحو مطلوبی مهار می‌نماید (Mir-Vakili & Baghestani, 2005).

شاخص‌های تنوع علف‌های هرز: نتایج مقایسه میانگین شاخص تنوع شانون در دو سال آزمایش نشان داد که شاخص تنوع شانون در تاریخ‌های نمونه‌گیری قبل از اعمال تیمارهای علف‌کش (یعنی ۱۵ اسفند و ۲۵ فروردین) معنی‌دار نبود (جدول تجزیه واریانس ارائه نشده است و صرفاً سطح معنی‌داری در شکل ۴ مشخص شده است). به‌طور کلی، نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که غالب کرت‌های آزمایشی اختصاص یافته قبل از اعمال تیمار به لحاظ تنوع و تعداد گونه علف‌های‌هرز دارای تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نبوده‌اند و زمین آزمایش از نظر رویش علف‌های‌هرز از یکنواختی نسبی برخوردار بوده است. ولی، بعد از اعمال تیمارهای علف‌کش، بین تیمارها در هر دو سال از لحاظ شاخص تنوع شانون تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۴).



شکل ٤- شاخص تنوع شانون علف‌های هرز در تیمارهای علف‌کش در هر مرحله نمونه‌برداری در دو سال آزمایش

Fig. 4- Weed Shannon Diversity Index in herbicide treatments at each sampling term in two years of experiment

ns و**: به‌ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح یک درصد تیمارهای علف‌کش در هر تاریخ نمونه‌برداری می‌باشند.

میله‌های عمودی روی ستون‌ها نشانگر خطای استاندارد هستند.

*,** and ns: are significant at of 5%, 1% probability level and no significant difference, respectivly

Vertical bars on the columns indicate a standard error.

در سال زراعی ۹۲- ۱۳۹۱ بالاترین شاخص تنوع شانون در تیمارهای بدون علف‌کش دیده شد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. در سال زراعی ۹۳- ۱۳۹۲نیز بیشترین شاخص تنوع در شاهد و کمترین شاخص تنوع زیستی در تیمارهای استفاده تلفیقی از هر دو علف‌کش مشاهده شد (شکل ۴).

سوانتون و همکاران (Swanton et al., 1999) نیز گزارش کردند که مدیریت شیمیایی علف‌های‌هرز موجب کاهش تنوع گونه‌ای شدند، امّا گونه‌های مقاوم باقی‌مانده در مزرعه غالب شده و دارای تراکم بسیار بالایی خواهند شد. تناوب زراعی به‌عنوان یک شیوه مدیریتی غیرشیمیایی مؤثر می‌تواند بر پویایی جمعیت علف‌های هرز تأثیر داشته و تزاحم آن‌ها را در مزرعه کاهش دهد (Delye, 2005). کاربرد علف‌کش‌ها هر چند باعث ریشه‌کن کردن برخی از گونه‌های علف‌های هرز می‌شوند، ولی غنای گونه‌ای را کاهش داده و فرصت رشد برای سایر گونه‌های مقاوم و مهاجم فراهم می‌آورند (Delye, 2005; Owen, 2008; Menne & Kocher, 2012).

در اراضی زراعی تنوع و غنای گونه‌ای، به‌طور همزمان متأثر از عوامل متعددی نظیر اقلیم، خصوصیات خاک، رقابت با محصول، درجه فشردگی عملیات زراعی و خصوصیات چشم‌انداز کشاورزی (از نظر سادگی یا پیچیدگی زیستگاه‌های پیرامون) می‌باشد (Walter et al., 2002; Lososova et al., 2004; Pysek & Leps., 1991).

اینکه کدام عامل یا عوامل بیشترین اهمیت را در توجیه تغییرات جامعه گیاهی برعهده دارند، متفاوت است، ولی نقش تعیین‌کننده علف‌کش‌های مصرفی بر ترکیب و تنوع علف‌های هرز در تحقیقات متعددی به اثبات رسیده است (Hume, 1987; Legere et al., 2005). به‌طور مثال، استفاده مکرر از علف‌کش‌هایی با سازوکار عمل مشابه برای چندین سال متوالی در مهار علف‌های هرز پهن‌برگ غلات، منجر به تغییر جوامع علف هرز از گونه‌های حساس به علف‌کش تو فوردی و غالب شدن علف‌های هرز باریک‌برگ در نظام‌های کشت غلات شده است (Radosevich et al., 1997; Kudsk & Streibig, 2003).

گزارش‌های سایر محققان نیز حاکی از این است که مصرف علف‌کش باعث کاهش معنی‌دار غنای گونه‌ای و شاخص تنوع شانون می‌گردد (Derksen et al., 1995; Rassam et al., 2010; Hyvonen & Salonen, 2002). علف‌کش با حذف گونه‌های حساس و گزینش گونه‌های مقاوم فشار انتخابی شدیدی بر جامعه علف‌های هرز وارد می‌کنند که نتیجه آن تنزل غنای گونه‌ای به سطح چند گونه غالب است (Hyvonen & Radosevich et al., 1997; Salonen, 2002).

عملکرد گندم: تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که اثر علف‌کش در هر دو سال و همچنین اثر آفت‌کش فقط در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ بر عملکرد معنی‌دار بود (جدول ۷). کلیه تیمارهایی که در آن از یک یا هردو نوع علف‌کش استفاده شده بود، به‌طور معنی‌داری عملکرد بیشتری نسبت به تیمارهای بدون علف‌کش داشتند (شکل ۵). همچنین علف‌کش پهن‌برگ‌کش توفوردی بیشتر از علف‌کش باریک‌برگ‌کش کلودینافوپ پروپارژیل باعث افزایش عملکرد در هر دو سال شد که علت آن، حذف بیشتر علف‌های هرز پهن‌برگ در مزرعه بود. ولی به‌طور کلی و صرفنظر از تیمارهای آفت‌کش، بیشترین عملکرد دانه در تیمار تلفیق دو نوع علف‌کش حاصل شد (شکل ۵). به نظر می‌رسد که با توجه به تعداد بیشتر گونه‌های علف هرز پهن‌برگ، تیمارهای پهن‌برگ‌کش نقش بیشتری را در حذف گونه‌های علف‌هرز و کاهش تعداد گونه داشته‌اند.

جدول ۷- منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات اثر آفت‌کش، علف‌کش و اثرات متقابل آن‌ها بر عملکرد دانه گندم در دو سال زراعی

Table7- Source of variation, degree of freedom and mean of square effects of pesticide, herbicide and their interactions on wheat grain yield in two years of experiment

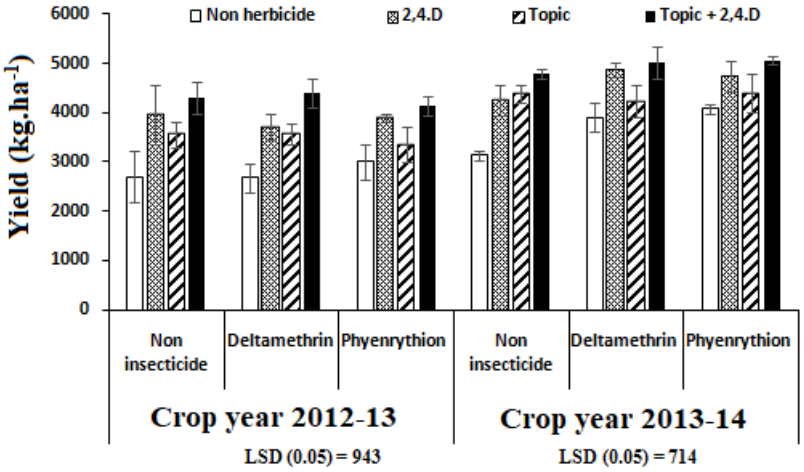
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه Economic yield	
		سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ 2013-14	سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ 2012-13
بلوک Block	2	219852 (3.08)^{ns}	710256 (7.31)^{ns}
آفت‌کش Insecticide (I)	2	658251 (9.21)*	5873 (0.06)^{ns}
علف‌کش Herbicide (H)	3	2527607 (53.1)**	3562163 (55.0)**
I × H	6	173047 (7.26)^{ns}	79215 (2.45)^{ns}
خطا Error	22	178010 (27.4)	310326 (35.15)
ضریب تغییرات CV (%)		9.57	15.44

مقادیر داخل پرانتز نشان‌دهنده درصدی از کل واریانس تغییرات می‌باشد که به منبع تغییر مربوطه تعلق دارد.

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌داری در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ .

The values in brackets represent the percentage of the total variation variance that belongs to the respective change source.

$^{and\ ns}$: are significant at of 5%, 1% probability level and no significant difference, respectivly. *,**



شکل ۵- برهم‌کنش کاربرد علف‌کش و آفت‌کش بر عملکرد گندم در دو سال آزمایش

Fig. 5- Interaction of application of herbicides and pesticides on wheat grain yield in two years of experiment

میله‌های عمودی روی ستون‌ها نشانگر خطای استاندارد هستند.

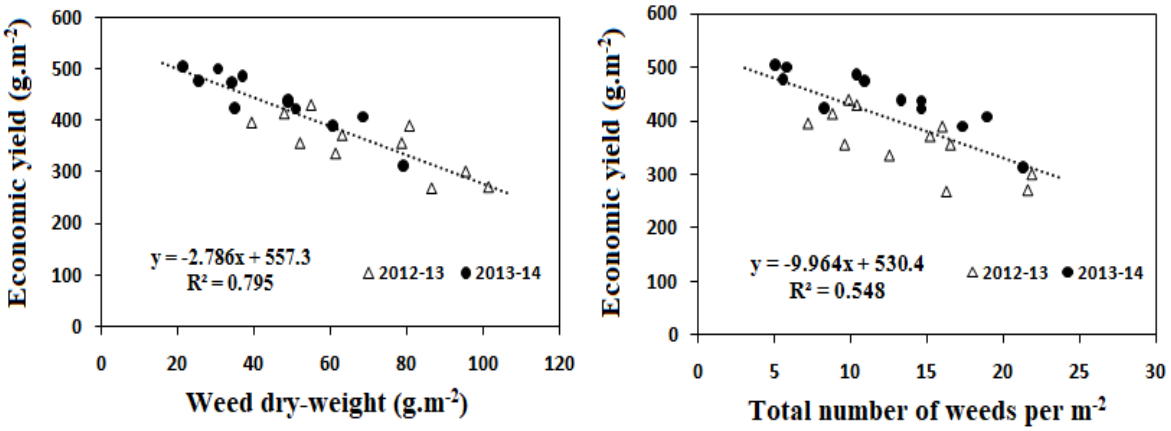
Vertical bars on the columns indicate the standard error.

در سال زراعی ۹۳- ۱۳۹۲ آزمایش اثر آفت‌کش بر عملکرد دانه گندم معنی‌دار بود (جدول ۷)، یعنی کاربرد آفت‌کش‌های دلتامترین و فنیتریتیون باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد، ولی تفاوتی بین این دو آفت‌کش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (شکل ۵).

رقابت بین گندم و علف‌هرز از مهم‌ترین محدودیت‌های تولید جهانی این گیاه محسوب می‌شود (Bushong et al., 2011; Hasanfard et al., 2022). علف‌های‌هرز به‌طور مستقیم برای کسب نور، مواد غذایی و رطوبت خاک با گیاهان زراعی رقابت می کنند (Auskarniene et al., 2010). درآزمایش الکوچا و همکاران (Elkoca et al., 2004) مشاهده شد که مهار علف هرز، تراکم و زیست توده علف‌های هرز را کاهش و عملکرد و اجزای عملکرد را در مقایسه با شاهد افزایش داد. اختلاط علف‌کش‌های توفوردی و تاپیک علف‌های هرز مزارع گندم را به نحو مطلوبی مهار می‌نماید (Mir-Vakili & Baghestani, 2005).

روابط بین عملکرد دانه و تراکم، وزن و شاخص‌های تنوع علف‌های هرز: برای درک بهتر از اثرات حضور علف‌های هرز بر عملکرد دانه گندم، از روابط رگرسیونی و همبستگی استفاده شد. رابطه بین عملکرد دانه با تراکم کل و وزن خشک کل علف‌های هرز در شکل ۶ نشان داده شده است. با افزایش تراکم و وزن خشک علف‌های هرز، عملکرد دانه گندم کاهش یافت. ارتباط تراکم و وزن خشک علف‌های هرز با عملکرد دانه از یک رابطه خطی درجه یک پیروی کرد (شکل ۶). نتایج حاکی از آن است که با افزایش هر گرم در مترمربع وزن خشک علف هرز، عملکرد دانه در دو سال زراعی مورد مطالعه حدود ۲/۸ گرم در مترمربع کاهش یافته است (شکل ۶). همچنین با استفاده از این روابط مشاهده شد که با افزایش هر بوته علف هرز در واحد سطح، عملکرد دانه ۹/۹۶ گرم در مترمربع کاهش یافته است (شکل ۶). رحیمیان و بنایان (Rahimian & Bannayan, 1996) و رحیمیان و همکاران (Rahimian et al.,1998) عنوان کردندکه در شرایطی که گندم هیچ رقیبی برای رویش نداشته باشد، پتانسیل عملکرد خیلی بیشتری را دارد. پورآذر و باغستانی (Porazar & Baghstani, 2004) نیز اثر منفی علف‌های هرز بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم را گزارش نمودند.

همچنین همبستگی منفی و معنی‌داری بین عملکرد گندم و غنای گونه‌ای علف‌های هرز در هر دو سال آزمایش مشاهده شد (شکل ۷). بدین صورت که با افزایش تعداد گونه علف هرز، عملکرد دانه کاهش یافت. همچنین همبستگی منفی و معنی‌داری نیز بین شاخص تنوع شانون و عملکرد دانه مشاهده شد و با افزایش تنوع علف‌های هرز، عملکرد کاهش یافت (شکل ۷). به نظر می‌رسد که تلفیق دو نوع علف‌کش علاوه‌بر وزن خشک و تراکم، بیشترین تأثیر بر تنوع گونه‌ای علف‌های هرز نیز داشته است.

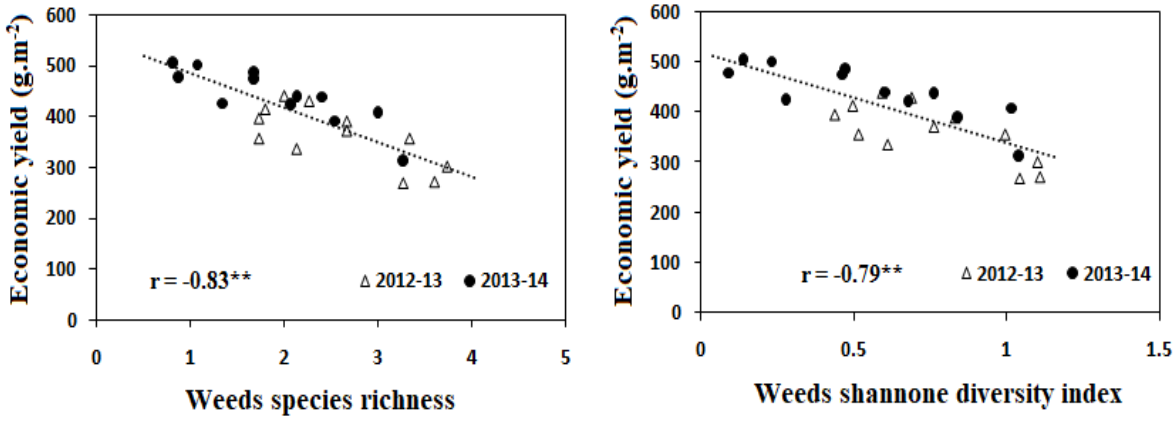


شکل ٦- رابطه رگرسیونی بین عملکرد دانه گندم و تراکم و وزن خشک علف‌های هرز در سال‌های آزمایش

Fig. 9- Regression relation between wheat grain yield and density and weed dry matter in years of experiment

معادله خطی به همراه ضریب تبیین رگرسیون آن در شکل نشان داده شده است.

The linear equation with its coefficient of regression is shown in Fig.



شکل ۷- همبستگی بین عملکرد دانه گندم و غنای گونه‌ای و تنوع شانون علف‌های هرز در سال‌های مختلف آزمایش

Fig. 7- Correlation between wheat grain yield and species richness and Shannon diversity index in different years of experiment

ضریب همبستگی و سطح معنی‌داری آن در شکل نشان داده شده است

Correlation coefficient and its significant level are shown in Fig.

استفاده طولانی‌مدت از علف‌کش ممکن است سبب تنوع علف‌های هرز و افزایش تعداد گونه علف‌های هرز شود. مطالعه در رابطه با پاسخ جمعیت گونه‌های علف هرز به فشارهای عملیات زراعی می‌تواند به استفاده صحیح از علف‌کش‌ها کمک کند.

علف‌کش‌ها ساختار جمعیتی علف‌های هرز را تغییر دادند و باعث کاهش شاخص تنوع زیستی علف‌های هرز شدند که این تغییر ساختار و تنوع علف‌های هرز، برنامه مدیریت صحیح را مشخص می‌نماید. البته دوره کوتاه مطالعه، تعمیم این موضوع را برای بلندمدت مشکل می‌کند. کاهش عملکرد در تیمارهای علف‌هرز به‌دلیل افزایش رقابت گیاه زراعی و علف هرز توسط چوکا و همکاران (Chhoka et al., 2008) نیز گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف علف‌کش‌ها باعث کاهش تراکم و وزن خشک علف‌های هرز و در نتیجه، کاهش غنای گونه‌ای و تنوع زیستی علف‌های هرز مزرعه گندم شد. البته کاربرد

علف‌کش‌ها باعث کاهش رقابت بین گندم و علف‌هرز شد که عملکرد دانـه گنـدم بهبـود یافـت. بـرخلاف مزایـایی کـه بـرای اسـتفاده از علف‌کش‌ها در جهت مهـار علف‌هـای هـرز و افـزایش تولیـد متصـور می‌شود، خطر از دست رفتن تنوع زیستی در اگرواکوسیسـتم‌ها مطـرح است. استفاده از یک نوع علف‌کش با کارایی بالا و دامنـه اثـر وسـیع، منابع غذایی که توسط علف‌های هرز برای سـایر ارگانیسـم‌ها فـراهم می‌شود را نابود می‌کند. به‌طور کلی، در کشت‌بوم‌های گندم با فشـرده شدن مدیریت زراعی به‌ویژه مصرف علف‌کش‌های مؤثر بر گونـه‌های پهن‌برگ، نه تنها از تنـوع و غنـای گونـه‌ای علف‌هـای هـرز کاسـته می‌شود، بلکه ترکیب جامعه گیاهی نیز دسـتخوش تغییـر شـده و بـه چیره شدن یک یا چند گونه غالب می‌انجامد. پیامـد کـاهش تنـوع در این بوم‌نظام‌ها، وابستگی بیشتر به نهاده‌هـای شـیمیایی اسـت کـه از تبعات آن آلودگی زیست‌محیطی و تهدید پایـداری کشـاورزی خواهـد بود.

References

1. Alizade, H., Norouzi, S., & Oveisi, M. (2014). Fundamentals of Weed Science. Tehran University Press, Tehran, Iran. 262 pp. (In Persian)
2. Altieri, M.A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *74*, 19–31. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6
3. Attwood, S.J., Maron, M., House, A.P.N., & Zammit, C. (2008). Do arthropod assemblages display globally consistent responses to intensified agricultural land use and management? *Global Ecology and Biogeography*, *17*, 585–599. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2008.00399.x
4. Auskarniene, O., Psibisauskiene, G., Auskalnis, A., & Kadzys, A.K. (2010). Cultivar and plant density influence on weediness in spring barely crops. *Zemdirbyste Agriculture*, *97*, 53-60.
5. Baghestani-Meibodi, M.A., Akbari, G.A., Atri, A.R., & Mokhtari, M. (2003). Competitive effects of rye (*Secale cereale* L.) on growth indices, yield and yield components of wheat. *Pajouhesh and Sazandegi*, *61*, 2-11. (In Persian with English abstract)
6. Banks, J.E., & Stark. J.D. (2004). Aphid response to vegetation diversityand insecticide applications. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *103*, 595–599. https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.11.005
7. Bushong, J., Peeper, T., Boyles, M., & Stone, A. (2011). Italian ryegrass (*Lolium perenne*), feral cereal rye (*Secale cereale*) and volunteer wheat (*Triticum aestivum*) control in winter canola. *Weed Technology*, *25*(3), 344-349. https://doi.org/10.1614/wt-d-10-00078.1
8. Cardina, J., Johnson, G.A., & Sparrow, D.H. (1997). The nature and consequence of weed spatial distribution. *Weed Science*, *45*, 364-373. https://doi.org/10.1017/s0043174500092997
9. Delye, C. (2005). Weed resistance to acetyl coenzyme a carboxylase inhibitors: An update. *Weed Science*, *53*, 728-746. https://doi.org/10.1614/ws-04-203r.1
10. Derksen, D.A., Thomas, A.G., Lafond, G.P., Loepky, H.A., & Swanton, C.J. (1995). Impact of post-emergence herbicides on weed community diversity within conservation tillage systems. *Weed Research*, *35*, 311-320. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1995.tb01794.x
11. Elkoca, E., Kantar, F., & Zengin, H. (2004). Effects of chemical and agronomical weed control treatments on weed density, yield and yield parameters of lentil (*Lens culinaris* L. Cv. Erzurum-89). *Asian Journal of Plant Science*, *3*(2), 187-192. https://doi.org/10.3923/ajps.2004.187.192
12. Hasanfard, A., Rastgoo, M., Darbandi, E.I., Nezami, A., & Chauhan, B.S. (2022). Freezing stress affects the efficacy of clodinafop-propargyl and 2, 4-D plus MCPA on wild oat (*Avena ludoviciana* Durieu) and turnipweed [*Rapistrum rugosum* (L.) All.] in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plos One*, *17*(10), 1-15. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274945
13. Hume, L. (1987). Long-term effects of 2, 4-D application on weed community in wheat crop. *Canadian Journal of Botany*, *65*, 2530-2536. https://doi.org/10.1139/b87-343
14. Hyvonen, T., & Salonen, J. (2002). Weed species diversity and community composition in cropping practices at two intensity levels – A six-year experiment. *Plant Ecology*, *159*, 73–81. https://doi.org/10.1023/a:1015580722191
15. Kraehmer, H. (2016). Atlas of Weed Mapping. John Wiley & Sons. 1-473.
16. Lemerle, D., Gill, G.S., Murphy, C.E., Walker, S.R., Cousens, R.D., Mokhtari, S., Peltzer, S.J., Coleman, R., &

Luckett, D.J. (2001). Genetic improvement and agronomy for enhanced wheat competitiveness with weed. *Australian Journal of Agricultural Research. 52*, 527–548. https://doi.org/10.1071/AR00056

17. Kurtz, M.E., & Street, J.E. (2003). Response of rice (*Oryza sativa*) to Glyphosate applied to simulate drift. *Weed Technology*. 17, 234–238.
18. Kudsk, P., & Streibig, J.C. (2003). Herbicides two-edged sword. *Weed Research*, *43*, 90-102. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00328.x
19. Legere, A., Stevenson, F.C., & Benoit, D.L. (2005). Diversity and assembly of weed communities: Contrasting response across cropping systems. *Weed Research*, *45*, 303-315. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2005.00459.x
20. Lososova, Z., Chytry, M., Cimalova, S., Kropac, Z., Otypkova, Z., Pysek, P., & Tichy, L. (2004). Weed vegetation of arable land in Central Europe: Gradients of diversity and species composition. *Journal of Vegetation Science*, *15*, 415–422. https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02279.x
21. Manley, B.S., Wilson, H.P., & Hines, T.E. (2002). Management programs and croprotations influence populations of annual grass weeds and yellow nutsedge. *Weed Science*, *50*, 112–119. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0112:mpacri]2.0.co;2
22. Marshall, E.J.P., Brown, V.K., Boatman, N.D., Lutman, P.J., Squire, G.R., & Ward, L.K. (2003). The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research*, *43*, 77–89. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00326.x
23. Menne, H., & Kocher, H. (2012). HRAC classification of herbicides and resistance development, *Modern Crop Protection Compounds*. Published by Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA. pp. 5-28. https://doi.org/10.1002/9783527619580.ch1
24. Minbashi Moeini, M. (2009). Investigation on using of GIS (Geographic Information System) for weed mapping of dryland and irrigated wheat fields of Iran. Final report. Iranian Research Institute of Plant Protection, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).
25. Minbashi Moeini, M., & Norouzzadeh, S. (2012). Study on persistence causes of weeds in wheat fields of temperate regions .6th Iranian Weed Science Conference. Birjand. Iran. (In Persian with English abstract).
26. Mir-Vakili, M., & Baghestani, M.A. (2005). Effect of integrate of 2,4-D and Clodinafop propagile in wheat fields of Yazd province. Proceedings of the 2nd Iranian Weed Science Conference. Iranian Research Institute of Plant Protection. Tehran, Iran. (In Persian).
27. Nekahi, M.Z., Soltani, A., Siahmarguee A., & Bagherani. N. (2014). Yield gap associated with crop management in wheat (Case study: Golestan province-Bandar-Gaz). *Electronic Journal of Crop Production*. *7*, 135-156. (In Persian with English abstract).
28. Nkoa, R., Owen, M.D., & Swanton, C.J. (2015). Weed abundance, distribution, diversity, and community analyses. *Weed Science*. *63*, 64-90. https://doi.org/10.1614/ws-d-13-00075.1
29. Norozzadeh, S., Rashed Mohasel, M.H., Nassiri Mahallati, M. Koocheki, A.R., & AbbasPour, M. (2008). Evaluation of species, functional and structural diversity of weeds in wheat fields of Northern, Southern and Razavi Khorasan provinces. *Iran Agricultural Research, 6*(2), 471-485. (In Persian with English abstract).
30. Owen, M.D.K. (2008). Weed species shifts in glyphosate-resistant crops. *Pest Management Science*, *64*, 377–387. https://doi.org/10.1002/ps.1539
31. Petit, S., Boursault, A., Le Guilloux, M., Munier-Jolain, N., & Reboud, X. (2011). Weeds in agricultural landscapes: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *31*, 309–317. https://doi.org/10.1051/agro/2010020
32. Pimentel, D., Stachow, U., Takacs, D.A., Brubaker, H.W., Dumas, A.R., Meaney, J.J. O'Neil, J.A.S., Onsi, D.E. & Corzilius. D.B. (1992). Conserving biological diversity in agricultural / forestry systems. *Bioscience*, *42*, 354-362. https://doi.org/10.2307/1311782
33. Porazar, R., & Baghstani. M.A. (2004). The efficiency of new broadleaf herbicide in wheat fields in Khuzestan. 16thIranian Plant Protection Congress. Iranian Research Institute of Plant Protection. Tehran, Iran (In Persian with English abstract).
34. Pysek, P., & Leps, J. (1991). Response of a weed community to nitrogen fertilization: A multivariate analysis. *Journal of Vegetation Science*, *2*, 237–244. https://doi.org/10.2307/3235956
35. Radosevich, S.R., Holt, J.S., & Ghersa, C. (1997). Weed Ecology: Implications for Management. John Wiley and Sons, New York, USA.

36. Rahimian, H., & Bannayan, M. (1996). Principles of Crop Physiology and Breeding. Jahad-e-Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran. pp. 344. (In Persian with English abstract).
37. Rahimian, H., Koocheki, A., & Zand, E. (1998). Crop Evolution, Adaptation and Yield. Agricultural Education Publication. pp. 493. (In Persian with English abstract).
38. Requier, F., Odoux, J.F., Tamic, T., Moreau, N., Henry, M., Decourtye, A., & Bretagnolle, V. (2015). Honey bee diet in intensive farmland habitats reveals an unexpectedly high flower richness and a major role of weeds. *Ecological Applications, 25*, 881–890. https://doi.org/10.1890/14-1011.1
39. Rassam, G.A., Latifi, N., Soltani, A., & Kamkar, B. (2010). Effects of crop factors and soil characteristics on weed composition and diversity in wheat (*Triticum aestivum* L.) fields of Jajarm. *Journal of Agroecology, 2*, 343-352. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v2i2.7641
40. Salehian, H., Ghanbari, A., Rahimian, H., & Majidi, A. (2003). Investigation of wheat and weeds interference in field condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *1*, 109-120. (In Persian with English abstract).
41. Stocking, M. (1999). Agrobiodiversity: A Positive Means of Addressing Land Degradation and Suitable Rural Livelihoods. In: Conacher, A. J. (Ed.), Land Degradation; Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. pp. 1-16.
42. Swanton, C.J., Shrestha, A., Knezevic, S.Z., Roy, R.C., & Ball-Oelho, B.R. (1999). Effect of tillage systems, no cover crop on the composition of weed flora. *Weed Science*, *47*, 454-461. https://doi.org/10.1017/s0043174500092079
43. Swift, M.J., & Anderson. J.M. (1993). Biodiversity and ecosystem function in agroecosystems. In: Schultze, E., Mooney, H.A. (Eds.). Biodiversity and Ecosystem Function. Springer, New York. pp. 57-83.
44. Thrupp, L.A. (1998). Cultivating diversity: Agrobiodiversity and food security. World Resource Institute, Washington D. C. pp. 1-80.
45. Veisi, M., Rahimian Mashhadi, H., Alizade, H., Minbashi Moeini, M., & Oveisi. M. (2014). Survey of flora change and weed community structure in irrigated wheat fields of Kermanshah Province in past decade. *Iranian Journal of Weed Science*. (In Persian with English abstract).
46. Walter, A.M., Christensen, S., & Simmelsgaard, S.E. (2002). Spatial correlation between species densities and soil properties. *Weed Research*, *42*, 26–38. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2002.00259.x
47. Zand, E., & Baghestani, M.A. (2008). A review on five years research on herbicide resistance in Iran. In Proceedings 2nd National Weed Science Congress, 29th-30th January, Mashhad, Iran. pp. 45-61.
48. Zand, E., Baghestani-Meibodi, M.A., Nezam-abadi, N., Shimee, P., & Mousavi, K. (2017). A Guide to Chemical Control of Weed in Iran. Jahad Daneshgahi Mashhad Press. Mashhad, Iran. pp. 224. (In Persian).
49. Zimdahl, R.L. (2007). Weed-crop competition: A review. John Wiley and Sons, Ames, USA.

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 3, 2025, p. 381-401

Evaluation of Yield and Some Root and Morphological Characteristics Response of Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in Intercropping with Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under Nitrogen Fertilizer Management

Mohammad Nasser Modoodi[1*], Vahid Shamsabadi[2] and Ebrahim Jahangir Dehborzoui[3]

1- Department of Horticulture Science and Engineering, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran
2- Department of Water Sciences and Engineering, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran
3- Modabber Kesht-e Toos Agriculture and Livestock Company, Khorasan Razavi, Iran
(*- Corresponding author's Email: mnmodoodi@tjamcaas.ac.ir)

Received: 23-02-2025
Revised: 28-06-2025
Accepted: 01-07-2025
Available Online: 26-11-2025

How to cite this article:
Modoodi, M. N., Shamsabadi, V., & Jahangir Dehborzoui, E. (2025). Evaluation of yield and some root and morphological characteristics response of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in intercropping with roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under nitrogen fertilizer management. *Journal of Agroecology*, *17*(3), 381-401. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.92222.1232

Introduction

Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) is an annual plant that tolerates salinity and drought from the legume family, which can be used as an alternative product in low-water plains. Considering the characteristics of the guar, such as having the ability to fix nitrogen biologically and a relatively deep root system, high adaptability to drought and poor soils, high competitive power and favourable morphology, it seems that placing it in intercropping, cultivation, can increase the efficiency of the final yield of intercropping crops. Utilizing the intercropping system for plants is an effective measure to improve soil fertility, increase the absorption of nutrients and improve the efficiency of water consumption, and it is considered one of the most important scientific methods to help maintain the stability and balance of the living system of soil. Therefore, this research was carried out with the aim of comparing different patterns of intercropping cultivation of guar next to the roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) with its pure cultivation at different levels of nitrogen fertilizer in the field of Toos Planting Manager Company in Taybad city, located in Polband plain.

Materials and Methods

The experiment was performed as a split plot in the form of a randomized complete block design with two factors and in three replications. The first factor included eight ratios of mixed crops, which were implemented as follows: sole cultivation of guar, one row of guar + one row of roselle, two row of guar + one row of roselle, three row of guar + one row of roselle, one row of guar + two row of roselle, one row of guar + three row of roselle, two row of guar + three row of roselle and three row of guar + two row of roselle. The second factor included nitrogen fertilizer, based on the recommendation of the soil laboratory, at three levels: without giving nitrogen fertilizer (zero kg per hectare) and 50 and 100 percent of the guar's requirement for nitrogen, one half at the time of planting and the other at the time of pod formation.

Authors retain the copyright.This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.92222.1232

Results and Discussion

The results indicated a significant superiority of sole cultivation of guar treatment in 100 percent of guar's requirement for nitrogen fertilizer in terms of the number of pods per plant and the length of the roots. Nevertheless, in attributes of weight of one hundred seeds and pod length, a significant superiority changed in favour of the treatment of three rows of guar + one row of roselle under conditions of 100 percent of guar's requirement for nitrogen fertilizer. In attributes of shoot dry weight and seed yield, the two treatments of sole cultivation of guar and three rows of guar + one row of roselle, under the condition of providing 100 percent of the nitrogen fertilizer requirement, have a significant advantage and were placed in a statistical group. The study of roselle traits showed that, except for the three-row guar + one-row roselle treatment, all treatment levels of the intercropping arrangement showed the highest sepal dry weight under conditions of 100% fertilizer requirement. However, the results of the land equivalent ratio (LER) trait showed that the only treatment where LER was above one, is the treatment of one row of guar + three rows of roselle, under the condition of providing 50% of the N fertilizer requirement.

Conclusion

Based on the results of this research, the only treatment whose intercropping was justifiable is the treatment of one row of guar + three rows of roselle, under the condition of providing 50% of the N fertilizer requirement. Therefore, it seems that this intercropping combination is recommended for farmers who like this type of planting system. Doing intercropping for species with different phenology can increase the productivity of agricultural lands while creating biodiversity and guaranteeing production.

Acknowledgements

We hereby express our gratitude and appreciation to Mr. Engineer Jahangir, the respected managing director of Toos Planting Manager Company, who cooperated fully in the implementation and financing of this project.

Keywords: Land equivalent ratio, Planting pattern, Seed yield, sepal yield

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱٤۰٤، ص ٤۰۱-۳۸۱

ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد کشت مخلوط گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) و چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در سطوح مختلف نیتروژن

محمد ناصر مودودی[۱*]، وحید شمس آبادی[۲] و ابراهیم جهانگیر دهبرزویی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۰

چکیده

پژوهش حاضر با هدف مقایسه الگوهای مختلف کشت مخلوط گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) و چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.)، در سطوح مختلف نیتروژن در شهرستان تایباد، در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا گردید. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل نُه نسبت کشت مخلوط یک ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش، دو ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش، سه ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش، یک ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش، یک ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش، دو ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش، سه ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش و کشت خالص گوار و چای ترش بود. عامل فرعی شامل کود نیتروژن بود که در سه سطح بدون مصرف و مصرف ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز گوار به نیتروژن اعمال گردید. نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر برتری معنی‌دار تیمار کشت خالص گوار در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز نیتروژن در صفات تعداد غلاف در بوته (۳۴/۵ عدد) و تعداد دانه در غلاف (۸/۴ عدد) بود. در صفت وزن ۱۰۰ دانه، برتری معنی‌دار، به‌نفع تیمار سه ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز نیتروژن (به‌میزان ۶/۳۳ گرم) تغییر کرد. در دو صفت وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد دانه گوار، دو تیمار کشت خالص گوار و کشت سه ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز نیتروژن، برتری معنی‌دار را به‌خود اختصاص دادند. بررسی صفات مربوط به چای ترش نشان داد که به‌جز تیمار کشت سه ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش، تمامی سطوح تیماری کشت مخلوط در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز کودی، بیشترین وزن خشک کاسبرگ را نشان دادند. امّا نتایج نسبت برابری زمین نشان داد که تنها تیماری که کشت مخلوط آن توجیه‌پذیر بود، تیمار کشت یک ردیف گوار + کشت سه ردیف چای ترش، در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز کودی نیتروژن (با نسبت براری زمین ۱/۰۲) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کاشت، عملکرد دانه، عملکرد کاسبرگ، نسبت برابری زمین

مقدمه

کشت مخلوط عبارت است از کشت همزمان دو یا بیش از دو گونه در یک قطعه زمین در طول یک فصل زراعی. این نوع کشت، اقدامی در راستای رسیدن به پایداری در سیستم‌های کشاورزی محسوب می‌شود (Fotohi-Chianeh et al., 2012). سیستم کشت مخلوط هنگامی سودمند است که منابع محیطی مورد نیاز دو گونه به‌طور مناسبی از یکدیگر جدا باشند، به‌طوری‌که این گونه‌ها در کنار یکدیگر قادر باشند از عوامل محیطی اطراف خود استفاده بهینه نمایند. غالباً در کشت مخلوط، عملکرد یک یا هر دو گیاه زراعی در مقایسه با کشت خالص آن‌ها کمتر است، امّا بازدهی ترکیب عملکرد آن‌ها می‌تواند بیشتر باشد (Koocheki et al., 2009). افزایش عملکرد در

۱- گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران
۲- گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران
۳-شرکت کشاورزی و دامپروی مدبر کشت توس، خراسان رضوی، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mnmodoodi@tjamcaas.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.92222.1232

واحد سطح، افزایش تنوع زیستی و ثبات بیولوژیکی، بهره‌برداری بهتر از عوامل رشد گیاه زراعی و همچنین تسهیل در مهار آفات، بیماری-های گیاهی، علف‌های هرز و کاهش خطر تولیدات کشاورزی از جمله فواید کشت مخلوط هستند (Zare Feizabadi & Emamverdian, 2012; Bargaz et al., 2015). کشت مخلوط، آب قابل دسترس را از طریق ایجاد پوشش گیاهی بیشتر در سطح خاک و حفاظت ذرات خاک از برخورد ضربات مستقیم قطرات باران به آن‌ها افزایش داده و بنابراین بخش بیشتری از آب در خاک نفوذ می‌کند. در سیستم تک-کشتی ممکن است که بخشی از آب مصرفی، چندان قابل استفاده نبوده و از دسترس گیاه خارج شود؛ امّا در کشت مخلوط، گیاهان به‌نحو بهتری از آب موجود بهره می‌برند (Gao et al., 2009). گزارش شده است که در سیستم کشت مخلوط، تفاوت در ساختار ریشه‌ای گیاهان منجر به حالت تکمیل‌کنندگی در تسخیر منابع شده و این امر افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی را در پی دارد (Hauggaard-Nielson & Jensen, 2001). به‌طور کلی، بهره-گیری از سیستم کشت مخلوط گیاهان، اقدامی مؤثر برای بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک، افزایش جذب عناصر غذایی، مهار بهتر آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز و ارتقاء کارایی مصرف آب بوده و از مهم‌ترین شیوه‌های علمی برای کمک به حفظ پایداری و تعادل سیستم زنده خاک محسوب می‌شود (Pour et al., 2019; Ehsani Shahbazi et al., 2021).

گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) گیاهی یک‌ساله و متحمل به خشکی و شوری و متعلق به خانواده بقولات (Fabaceae) است که در دشت‌های کم‌آب می‌توان از آن به‌عنوان یک محصول جایگزین استفاده نمود (Singla et al., 2016). گوار در اراضی دارای بافت سبک، خاک‌های شنی- شنی لومی و همچنین در مناطقی که دارای بارندگی سالیانه ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر هستند، به‌خوبی رشد می‌کند. این گیاه در شرایط دماهای بالا (حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد) و در خاک‌های ضعیف قابلیت رشد خوبی داشته و از این نظر مناسب برای کشت‌وکار در مناطقی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران است (Shahghasi et al., 2023). ریشه‌های آن قابلیت همزیستی با باکتری‌های *ریزوبیوم* و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن را داشته و می‌تواند نیتروژن آزاد جَو را به‌شکل قابل جذب برای خود درآورد. حدود ۸۰ درصد سطح زیرکشت گوار در دنیا به کشور هندوستان اختصاص داشته و پس از آن پاکستان در رده دوم تولید جهانی این گیاه قرار دارد(Hema & Shalendra, 2014) . امروزه استفاده از گوار در راستای تعلیف دام، یکی از اهداف مهم کشت‌وکار این گیاه به‌شمار می‌رود (Shahbazi et al., 2021). گوار منبع مهمی از صمغ گالاکتومانان است که از آندوسپرم دانه گیاه استخراج شده و با حل شدن در آب به حالت ژله‌ای در می‌آید. این خصوصیت سبب شده است تا گوار در صنایع مختلف استفاده‌های متنوعی داشته باشد(Pathak & Roy, 2015) . علاوه‌بر این، ترکیب جنین و پوسته بذر گوار، کنجاله این محصول را تشکیل می‌دهند که غنی از پروتئین می‌باشد. همچنین فرآورده‌هایی از صمغ گوار در کاهش وزن، کاهش قند خون، برطرف کردن چاقی و کم‌اشتهایی به دست می‌آید که کاربردهای دارویی این گیاه ارزشمند را نشان می‌دهند (Hossieni Nezhad, 2021; Singh, 2014). تحقیقات نشان داده‌اند که گیاه گوار در کشت مخلوط، عکس‌العمل خوبی را از خود نشان داده است. مومن کیخا و همکاران (Momen-Keykha et al., 2018) طی ارزیابی عملکرد و جنبه‌های اکوفیزیولوژیک کشت مخلوط گوار با آفتابگردان، پاسخ گوار را در سه الگوی کشت مخلوط ۷۵ درصد گوار + ۲۵ درصد آفتابگردان، ۵۰ درصد گوار + ۵۰ درصد آفتابگردان و ۲۵ درصد گوار + ۷۵ درصد آفتابگردان، توأم با کشت خالص آن، در کنار سه سطح کود نیتروژن صفر، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که بیشترین عملکرد دانه گوار در شرایط ۷۵ درصد گوار + ۲۵ درصد آفتابگردان و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن حاصل شد. آن‌ها همچنین گزارش کردند که نسبت‌های مختلف کشت مخلوط باعث کاهش وزن خشک علف‌های هرز گردید.

چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) گیاهی است از خانواده مالواسه (Malvaceae) که از قدیم‌الایام به‌عنوان دارو مورد استفاده بوده و هم‌اکنون نیز به‌عنوان گیاه دارویی مورد توجه است. از اجزاء گل چای ترش در صنعت داروسازی برای تسکین علائم برونشیت و سرفه استفاده می‌شود. همچنین از کاسبرگ‌های آن برای درمان فشار خون بالا، اسهال و بیماری دهان استفاده می‌گردد (Panah, Yazdan 2016). چای ترش به خشکی نسبتاً مقاوم بوده و در مناطقی که دارای حداقل ۱۲۵ میلی‌متر بارندگی و حداقل دمای ۱۵درجه سانتی گراد باشند، قابلیت رشد دارد. این گیاه به یخبندان بسیار حساس است و در نواحی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری تا ارتفاع ۹۰۰ متری از سطح دریا بیش‌ترین رشد را دارد. چای ترش گیاهی روزکوتاه است و به تغییرات طول روز بسیار حساس می‌باشد و لذا باید آن را در مناطق با

نور کافی کشت کرد و از کشت‌وکار آن در مکان‌های سایه خودداری نمود (Yazdan Panah, 2016). با توجه به آنچه ذکر شد، به نظر می‌رسد که گیاه چای ترش می‌تواند به‌عنوان یک گیاه مناسب جهت کشت در کنار گوار در شرایط کشت مخلوط انتخاب گردد. در همین راستا، حیدری و همکاران (Heydari et al., 2019) طی ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد و ویژگی‌های مورفولوژیک کشت مخلوط چای ترش با لوبیا چشم بلبلی برپایه سری جایگزینی، سه الگوی کشت مخلوط ۷۵ درصد چای ترش + ۲۵ درصد لوبیا چشم بلبلی، ۵۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد لوبیا چشم بلبلی و ۲۵ درصد چای ترش + ۷۵ درصد لوبیا چشم بلبلی را در کنار کشت خالص آن‌ها مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در نهایت کشت ۲۵ درصد چای ترش + ۷۵ درصد لوبیا چشم بلبلی را به‌منظور دستیابی به درآمد اقتصادی بیشتر و بهره‌وری بهتر از زمین گزارش کردند.

نیتروژن یکی از اجزاء تشکیل‌دهنده بسیاری از مولکول‌های حیاتی از قبیل پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، کلروفیل‌ها و برخی هورمون‌ها است (Khoshouei et al., 2022; Nasrollahzadeh, 2017). نیتروژن، به‌طور مستقیم در تولید سلول‌های جدید، ساخت ترکیبات نیتروژن‌دار سلول‌ها، ساخت آنزیم‌ها و اجزاء دیواره غشاء سلول‌ها نقش داشته و به‌طور غیرمستقیم در گسترش سطح برگ و رشد و نمو گیاه مؤثر است (Arshadi & Asgharipour, 2011). متخصصان علم فیزیولوژی گیاهی بیان داشتند که دو عامل تنش نیتروژن و آب به‌ترتیب سبب کاهش کلروفیل و تورژسانس سلول‌ها شده و فراهمی نیتروژن سبب افزایش محتوی نسبی آب در گیاهان می‌شود و در گیاهانی که از درصد آب بیشتری برخوردارند، محتوای کلروفیل نیز بیشتر است (Schlemmer et al., 2005; Khoshouei et al., 2022). ارشدی و همکاران (Arshadi et al., 2010) در گزارش‌هایی اظهار داشتند که دستگاه کلروفیل‌متر SPAD شاخصی از محتوای کلروفیل گیاه بوده و بین قرائت دستگاه کلروفیل‌متر SPAD و محتوای نیتروژن برگ، همبستگی مثبتی وجود دارد.

با توجه به خصوصیات گیاه گوار مانند داشتن توانایی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و سازگاری بالا به خشکی و خاک‌های فقیر، توان رقابتی بالا و ریخت‌شناسی مطلوب، به نظر می‌رسد که قرار دادن آن در کشت مخلوط، می‌تواند باعث افزایش بازدهی عملکرد نهایی کشت مخلوط شود. از طرف دیگر، چای ترش نیز گیاهی نسبتاً مقاوم به خشکی بوده و طول فصل رشد آن مشابه گوار می‌باشد؛ ولی با گیاه گوار، هم‌خانواده نبوده و آفات و بیماری‌های مشترکی با گیاه گوار ندارد و به نظر می‌رسد که کشت مخلوط این دو گیاه به همراه اعمال کود نیتروژن (به‌عنوان تضمینی جهت مواجه نشدن دو گیاه با کمبود نیتروژن) می‌تواند موفقیت‌آمیز باشد. لذا هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط گوار و چای ترش بر عملکرد و اجزای عملکرد این دو گیاه تحت سطوح مختلف کود نیتروژن بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه شرکت مدبر کشت توس در شهرستان تایباد، با طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی و ارتفاع ۸۱۰ متر از سطح دریا واقع در دشت پل‌بند اجرا گردید. میانگین دمایی شهرستان ۱۶٫۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی آن ۱۸۰٫۵ میلی‌متر بوده و اقلیم منطقه براساس طبقه‌بندی دومارتن، گرم و خشک می‌باشد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل نُه نسبت کشت مخلوط بود که به‌صورت یک ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش، دو ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش، سه ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش، یک ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش، یک ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش، دو ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش، سه ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش و کشت خالص گوار و چای ترش انجام شد. عامل فرعی نیز شامل کود نیتروژن بود که براساس نتایج آزمون خاک، در سه سطح بدون دادن کود نیتروژن (صفر کیلوگرم در هکتار) و ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز گوار به نیتروژن، به‌صورت یک دوم در زمان کاشت و یک دوم در زمان تشکیل میوه اعمال گردید. پیش از انجام آزمایش و جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، نمونه‌برداری از خاک مزرعه از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک صورت گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش
Table 1- Soil physical and chemical properties of experiment site

بافت Texture	اسیدیته pH	وزن مخصوص ظاهری Bulk density ($g.cm^{-3}$)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total N (%)	کربن آلی Organic C (%)
سیلت لومی loamy silt	7.38	1.05	1.45	210	8.00	0.046	0.300

عملیات شخم، دیسک و تسطیح زمین و همچنین تهیه ردیف-های کاشت در اواسط اردیبهشت‌ماه انجام شد. همچنین هر دو گیاه در هفته اول خردادماه ۱۴۰۰ به‌صورت خشکه‌کاری کاشت شدند. رقم گوار استفاده‌شده در این تحقیق، رقم وارداتی پاکستانی BR2017 بود که در شرایط فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر (به‌صورت ثابت برای هر دو گیاه) کشت شد. فاصله روی ردیف نیز در دو گیاه گوار و چای ترش، به‌ترتیب ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متر بود (Araghian et al., 2022). در طول فصل رشد، آبیاری به‌صورت نشتی هر ۱۰ روز یک بار (مطابق با عرف منطقه) انجام شد. حذف علف‌های هرز نیز به‌صورت وجینی و سه مرتبه در طول فصل رشد انجام گردید. برداشت هر دو محصول نیز در هفته آخر مهرماه انجام شد.

در انتهای فصل رشد، صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه گیاه گوار با انتخاب تصادفی پنج بوته در هر کرت اندازه‌گیری شدند. عملکرد دانه گوار نیز از نیمه پایینی هر کرت، با حذف اثر حاشیه‌ای و برحسب گرم در مترمربع اندازه‌گیری شد. همچنین تعداد شاخه زایا در بوته و وزن خشک کاسبرگ برحسب گرم در مترمربع با انتخاب تصادفی پنج بوته در هر کرت برای گیاه چای ترش اندازه‌گیری شدند. وزن خشک اندام‌های هوایی هر دو گیاه نیز از طریق قرار دادن اندام‌های دو گیاه در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی-گراد به‌مدت ۴۸ ساعت اندازه‌گیری شدند. علاوه‌بر این نسبت برابری زمین (LER) نیز از معادله ۱ محاسبه گردید.

$$LER = (Y_{ab}/Y_{aa}) + (Y_{ba}/Y_{bb}) \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، Y_{ab}: عملکرد گوار در کشت مخلوط با چای ترش، Y_{aa}: عملکرد گوار در شرایط کاشت خالص، Y_{ba}: عملکرد چای ترش در کشت مخلوط با گوار و Y_{bb}: عملکرد چای ترش در شرایط کاشت خالص هستند. چنانچه LER بزرگ‌تر از یک شود، نشان‌دهنده سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص و چنانچه LERکوچک‌تر از یک شود، نشان‌دهنده سودمندی کشت خالص نسبت به کشت مخلوط است (Vandermeer, 1989).

داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab 17 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های گوار

وزن خشک اندام‌های هوایی

اثر متقابل کشت مخلوط و نیتروژن بر وزن خشک اندام‌های هوایی گوار در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲)، به‌طوری‌که بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی در دو تیمار کشت خالص گوار و کشت سه ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز کودی مشاهده شد و این دو تیمار به‌ترتیب با وزن خشک اندام‌های هوایی ۶۰/۵ و ۵۹/۷ گرم در بوته بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی را تولید کردند (جدول ۳). پس از این دو تیمار، تیمار کشت خالص گوار در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز کودی با وزن خشک اندام‌های هوایی ۵۷/۷ گرم در بوته در رتبه بعدی قرار گرفت. در سایر تیمارها وزن خشک اندام‌های هوایی، کمتر از ۵۶ گرم در بوته بود (جدول ۳). در سطوح مختلف تیمار کشت مخلوط، با افزایش مقدار نیتروژن از صفر به ۱۰۰ درصد نیاز کودی، وزن خشک اندام‌های هوایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). براساس نتایج این تحقیق، به نظر می‌رسد که استفاده بهتر از منابع و سرعت رشد بیشتر در تیمار کشت مخلوط سه ردیف گوار + یک ردیف چای ترش در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز کودی سبب بروز برتری آن شده است. همچنین احتمالاً سایه‌اندازی بیشتر بوته‌های چای ترش روی بوته‌های گوار در سایر تیمارهای کشت مخلوط سبب کاهش استفاده بهینه گوار از نور و تولید فتواسیمیلات‌ها شده و کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی را برای گوار به همراه داشته است. نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های محققان دیگر مطابقت دارد. شهبازی و

همکاران (Shahbazi et al., 2021) در بررسی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط گوار و نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.)، گزارش کردند که بیشترین وزن خشک گوار، در دو تیمار کشت خالص گوار و الگوی کشت مخلوط ۷۵ درصد گوار + ۲۵ درصد نعنا فلفلی به‌دست آمد. علاوه‌بر این براساس یافته‌های تحقیق حاضر، با افزایش کاربرد کود نیتروژن از صفر به ۱۰۰ درصد نیاز کودی، وزن خشک اندام‌های هوایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. هرچند گیاه گوار دارای توانایی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن است، امّا به نظر می‌رسد که این توانایی نمی‌تواند به اندازه کافی در تأمین نیتروژن مورد نیاز اندام‌های هوایی گوار و رشد آن‌ها تأثیرگذار باشد. با توجه به اینکه نیتروژن ترکیب اصلی پروتئین‌ها را تشکیل داده و آنزیم‌ها نیز پروتئینی هستند، بنابراین وجود نیتروژن برای سنتز تمام آنزیم‌ها ضروری است و کمبود آن در هر واکنش آنزیمی تأثیرگذار است (Taiz & Zeiger, 2010). نیتروژن همچنین در سنتز مولکول کلروفیل، مورد نیاز بوده و بدون وجود نیتروژن حلقه‌های پورفیرینی سر مولکول کلروفیل تشکیل نخواهند شد (Taiz & Zeiger, 2010). لذا تأثیر آن در افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی گوار منطقی به نظر می‌رسد. مومن کیخا و همکاران(Momen-Keykha et al., 2018) نیز طی ارزیابی کشت مخلوط گوار با آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) عنوان کردند که در سطوح مختلف الگوهای کشت مخلوط، با افزایش مقدار نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، وزن خشک اندام‌های هوایی گوار به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

تعداد غلاف در بوته

بررسی نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل کشت مخلوط و نیتروژن بر تعداد غلاف در بوته گوار در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بدین صورت که بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمار کشت خالص گوار در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز کودی (۳۴/۴ غلاف در بوته) مشاهده شد. پس از این تیمار، تیمار کشت سه ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز کودی، با تعداد ۳۳/۵ غلاف در بوته در رتبه بعدی قرار گرفت. در سایر تیمارها تعداد غلاف در بوته، کمتر از ۳۳ بود (جدول ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد گوار تحت شرایط کشت مخلوط و کود نیتروژن

Table 2- ANOVA (mean of squares) for yield and yield components of guar under conditions intercropping and nitrogen fertilizer

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	وزن خشک اندام‌های هوایی Shoot dry weight	تعداد غلاف در بوته No. of pods per plant	تعداد دانه در غلاف No. of seeds per pod	وزن ۱۰۰ دانه 100-seeds weight	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replication	2	342	102	0.983	1.57	7721
کشت مخلوط Intercropping arrangement (I)	7	397 **	126 **	3.83 **	4.12 **	6868 **
خطای الف Error (a)	14	0.549	0.566	0.0007	0.0009	74.7
کود نیتروژن N fertilizer (N)	2	575 **	176 **	5.13 **	5.73 **	10479 **
کشت مخلوط × کود نیتروژن I × N	14	23.7 **	8.47 **	0.259 **	0.194 **	531 **
خطای ب Error (b)	32	0.530	0.143	0.001	0.003	39.5
ضریب تغییرات CV (%)	-	1.51	1.37	0.50	1.11	2.10

**: معنی‌دار در سطح یک درصد

**: significant in 1% level

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کشت مخلوط و کود نیتروژن بر وزن خشک اندام‌های هوایی گوار

Table 3- Mean comparisons of interaction of intercropping and nitrogen fertilizer on shoot dry weight of guar (g.plant^{-1})

کشت مخلوط Intercropping arrangement	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer		
	عدم مصرف نیتروژن Non-nitrogen fertilizer	۵۰ درصد نیاز کودی 50% of fertilizer requirement	۱۰۰ درصد نیاز کودی 100% of fertilizer requirement
کشت خالص گوار Sole cultivation of guar	52.0	57.7	60.5
یک ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش One row of guar + one row of roselle	38.6	49.6	53.4
دو ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش Two row of guar + one row of roselle	38.8	48.5	52.6
سه ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش Three row of guar + one row of roselle	51.7	55.5	59.7
یک ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش One row of guar + two row of roselle	37.1	38.2	40.5
یک ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش One row of guar + three row of roselle	36.7	38.6	46.7
دو ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش Two row of guar + three row of roselle	38.7	51.7	54.2
سه ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش Three row of guar + two row of roselle	51.4	54.5	55.0
LSD 0.05 = 1.21			

در تیمارهای مختلف کشت مخلوط، با افزایش مقدار نیتروژن از صفر به ۱۰۰ درصد نیاز کودی، تعداد غلاف در بوته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴). همچنین براساس نتایج تحقیق حاضر، در سطوح تیماری که تعداد ردیف‌های کاشت چای ترش نسبت به گوار برتری داشت، تعداد غلاف در بوته گوار به‌طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد. با توجه به اینکه گوار یکی از گیاهان خانواده بقولات بوده و گیاهان زراعیِ از گیاهان این خانواده دارای تیپ رشدی نامحدود هستند (Majnoon Hosseini, 2015) و با عنایت به اینکه هر برگ، نزدیک‌ترین واحد زایشی به خود را تغذیه می‌کند (Sarmad Nia & Koocheki, 2013)، لذا نفوذ نور در گیاهان رشد نامحدود برای فتوسنتز برگ‌های پایینی و به‌دنبال آن، تغذیه واحدهای زایشی پایین تاج‌پوشش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امّا احتمالاً سایه-اندازی بیشتر بوته‌های چای ترش روی بوته‌های گوار در آرایش‌هایی از کشت مخلوط که در آن‌ها تعداد ردیف‌های کاشت چای ترش بر ردیف‌های کاشت گوار برتری داشته سبب کاهش استفاده بهینه گوار از نور و کاهش تعداد غلاف در بوته در گیاه گوار شده است. علاوه‌بر این با توجه به یافته‌های این تحقیق، با افزایش مقدار کود نیتروژن در سطوح مختلف کشت مخلوط، تعداد غلاف در بوته به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. مطالعات نشان داده‌اند که نیتروژن جزء لاینفک مولکول‌های کلروفیل بوده و فراهمی آن به‌میزان کافی می‌تواند در افزایش سنتز کلروفیل مؤثر باشد (Sarmad Nia & Koocheki, 2013) و از آنجایی‌که گیاهان زراعی برای جذب نور و تولید ماده خشک باید ذخیره کافی از نیتروژن را در برگ‌های خود داشته باشند (Salvagiotti et al., 2008)، لذا به نظر می‌رسد که کاربرد به‌موقع و کافی نیتروژن می‌تواند در افزایش اجزای عملکرد، از جمله تعداد غلاف در بوته گیاه گوار مؤثر باشد. در همین راستا، غربائی طغرکان و

همکاران(Ghorabaei Toghrekan et al., 2022) طی بررسی پاسخ اجزای عملکرد گوار به سطوح کودهای نیتروژن (در سه سطح ۲۰، ۶۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و فسفر (در دو سطح صفر و ۷۵ کیلوگرم در هکتار) در سه فاصله ردیف ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متر، بیشترین تعداد غلاف در بوته را با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر در فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر مشاهده کردند. در تحقیقی دیگر، مصطفوی‌راد و همکاران (Mostafavi Rad et al., 2016) افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته را در بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) طی بررسی کاربرد کود نیتروژنه برای این گیاه به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند. به نظر می‌رسد که تولید غلاف در بوته به‌مقدار زیادی به فراهمی عناصر غذایی (به‌خصوص نیتروژن) که برای رشد سریع گیاه ضروری هستند، وابسته است و احتمالاً افزایش تعداد غلاف در بوته تحت تیمار کود شیمیایی نیتروژن می‌تواند در نتیجه بهبود رشد ریشه، جذب عناصر غذایی و به‌تبع آن افزایش فتوسنتز در گیاه باشد (Khoshouei et al., 2022). ارشدی و همکاران (Arshadi et al., 2021) اظهار داشتند که فراهمی عناصر مورد نیاز ریشه نخود خصوصاً نیتروژن و فسفر، در ایجاد تعادل هورمونی و افزایش طول ریشه نخود موثر است و این موضوع می‌تواند در بهبود جذب عناصر غذایی به نفع اندام‌های هوایی نخود موثر باشد. به نظر می‌رسد که بین میزان فراهمی عنصر غذایی نیتروژن و توان تولید غلاف در بوته گوار ارتباط مستقیمی وجود دارد و افزایش میزان نیتروژن قابل دسترس گیاه از طریق کاربرد کود شیمیایی حاوی نیتروژن سبب افزایش تعداد غلاف در بوته گوار می‌گردد.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل کشت مخلوط و کود نیتروژن بر تعداد غلاف در بوته گوار

Table 4- Mean comparisons of interaction of intercropping and nitrogen fertilizer on no. of pods per plant of guar

کشت مخلوط Intercropping arrangement	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer		
	عدم مصرف نیتروژن Non-nitrogen fertilizer	۵۰ درصد نیاز کودی 50% of fertilizer requirement	۱۰۰ درصد نیاز کودی 100% of fertilizer requirement
کشت خالص گوار Sole cultivation of guar	30.1	32.8	34.5
یک ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش One row of guar + one row of roselle	21.7	27.9	30.0
دو ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش Two row of guar + one row of roselle	22.2	27.7	30.2
سه ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش Three row of guar + one row of roselle	29.3	31.8	33.5
یک ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش One row of guar + two row of roselle	21.5	21.8	23.0
یک ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش One row of guar + three row of roselle	21.1	22.1	26.6
دو ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش Two row of guar + three row of roselle	22.0	30.0	30.8
سه ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش Three row of guar + two row of roselle	29.4	30.2	31.8
LSD 0.05 = 0.194			

تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل کشت مخلوط و نیتروژن بر تعداد دانه در غلاف گوار در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲)، به‌طوری‌که بیشترین تعداد دانه در غلاف با میانگین ۸/۴ در تیمار کشت خالص گوار در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز کودی مشاهده شد. پس از این تیمار، سه تیمار کشت سه ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش در شرایط تأمین ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز کودی و کشت خالص گوار در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز کودی با میانگین ۸/۱ دانه در غلاف در رتبه بعدی قرار گرفتند. کمترین تعداد دانه در غلاف نیز در دو تیمار کشت یک ردیف گوار + کشت دو ردیف چای ترش و کشت یک ردیف گوار + کشت سه ردیف چای ترش در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن (به‌ترتیب به‌میزان ۵/۹۳ و ۵/۹۶ عدد) وجود داشت (جدول ۵). برتری دو تیمار کشت سه ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش در شرایط تأمین ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز کودی از نظر تعداد دانه در غلاف می‌تواند ناشی از کاهش رقابت بین گونه‌ای (بین گوار و چای ترش) بر سر نور و نفوذ بهتر نور به داخل تاج‌پوشش گوار و فراهمی بیشتر نور برای برگ‌های پایینی تاج‌پوشش های گوار و تغذیه بهتر واحدهای زایشی در بوته‌های گوار این دو نوع کشت مخلوط باشد که درنهایت منجر به افزایش تعداد دانه در غلاف در این دو ترکیب تیماری شده است.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کشت مخلوط و کود نیتروژن بر تعداد دانه در غلاف گوار

Table 5- Mean comparisons of interaction of intercropping and nitrogen fertilizer on no. of seeds per pods of guar

کشت مخلوط Intercropping arrangement	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer		
	عدم مصرف نیتروژن Non-nitrogen fertilizer	۵۰ درصد نیاز کودی 50% of fertilizer requirement	۱۰۰ درصد نیاز کودی 100% of fertilizer requirement
کشت خالص گوار Sole cultivation of guar	7.36	8.10	8.40
یک ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش One row of guar + one row of roselle	6.06	7.10	7.36
دو ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش Two row of guar + one row of roselle	6.06	7.06	7.06
سه ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش Three row of guar + one row of roselle	7.06	8.06	8.06
یک ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش One row of guar + two row of roselle	5.93	6.00	6.06
یک ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش One row of guar + three row of roselle	5.96	6.06	7.10
دو ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش Two row of guar + three row of roselle	6.06	7.06	7.36
سه ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش Three row of guar + two row of roselle	7.06	7.10	7.40
LSD 0.05 = 0.158			

هرچند با افزایش مقدار نیتروژن، تعداد دانه در غلاف نیز افزایش پیدا کرد (جدول ۵)، امّا در تیمارهایی مانند کشت دو ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش و کشت سه ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش، بین دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی نیتروژن، اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد دانه در غلاف وجود نداشت. خشوعی و همکاران (Khoshouei et al., 2022) نیز در مطالعه اثر آبیاری، کمپوست زباله شهری و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد بادام‌زمینی گزارش کردند که تعداد دانه در غلاف، بیشتر تحت کنترل ژنتیک گیاه بادام‌زمینی بوده و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. در تحقیقی دیگر، ارشدی و همکاران (Arshadi et al., 2008) نیز در گزارشی بیان نمودند که برخی از ویژگی‌های گیاهی در زُمره صفات کیفی قرار گرفته و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرند.

وزن ۱۰۰ دانه

اثر متقابل تیمارهای کشت مخلوط و نیتروژن بر وزن ۱۰۰ دانه گوار در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین وزن ۱۰۰ دانه در تیمار کشت سه ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز کودی با میانگین ۶/۳ گرم مشاهده شد. پس از این تیمار، کشت خالص گوار در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز کودی، با وزن ۱۰۰ دانه ۶/۱۶ گرم در رتبه بعدی قرار گرفت (جدول ۶). کمترین وزن ۱۰۰ دانه نیز مربوط به کشت یک ردیف گوار + کشت سه ردیف چای ترش در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن (۳/۸ گرم) بود (جدول ۶). در تیمارهای مختلف کشت مخلوط، با افزایش مقدار نیتروژن از صفر به ۱۰۰ درصد نیاز کودی، وزن ۱۰۰ دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۶). از آنجایی‌که واحدهای زایشی در پیکره تاج‌پوشش گیاه، توسط نزدیک‌ترین برگ‌ها تغذیه می‌شوند (Sarmad Nia & Koocheki, 2013)، لذا در گیاهان رشد نامحدودی همچون گوار، نفوذ نور برای فتوسنتز برگ‌های پایینی و به‌دنبال آن، تغذیه واحدهای زایشی پایین تاج‌پوشش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و عدم فراهمی کافی نور برای برگ‌های میانی و پایینی تاج‌پوشش، می‌تواند به‌واسطه کاهش پتانسیل فتوسنتزی تاج‌پوشش ، گیاه را با محدودیت منبع مواجه کرده و این امر تغذیه نامطلوب دانه‌ها و کوچک ماندن بذرها را به همراه داشته باشد. در این تحقیق، احتمالاً سایه‌اندازی بیشتر بوته‌های چای ترش روی بوته‌های گوار در آرایش-هایی از کشت مخلوط که در آن‌ها تعداد ردیف‌های کاشت چای ترش بر ردیف‌های کاشت گوار برتری داشته، سبب کاهش استفاده مطلوب گوار از نور و کاهش وزن دانه گوار شده است. از طرف دیگر، برتری تیمار کشت سه ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش نسبت به تیمار کشت خالص گوار از نظر وزن ۱۰۰ دانه، می‌تواند ناشی از ایجاد یک رقابت اندک و البته سازنده به‌نفع گوار، در راستای افزایش جذب آب و مواد غذایی توسط گوار باشد. مومن کیخا و همکاران (Momen-Keykha et al., 2018) در مطالعه‌ای طی بررسی اثر کشت مخلوط گوار با آفتابگردان، پاسخ گوار را در سه الگوی کشت مخلوط ۷۵ درصد گوار + ۲۵ درصد آفتابگردان، ۵۰ درصد گوار + ۵۰ درصد آفتابگردان و ۲۵ درصد گوار + ۷۵ درصد آفتابگردان، به همراه کشت خالص آن مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که وزن هزار دانه گوار در نسبت‌های کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص آن بیشتر بود. به‌طور کلی، وزن دانه از مهم‌ترین اجزای عملکرد بوده و وجود دانه‌هایی که به‌خوبی پر شده باشند، نقش بسزایی در افزایش عملکرد دانه خواهند داشت (Khoshouei et al., 2022) . به نظر می‌رسد که فراهمی بیشتر نیتروژن، تخصیص بیشتر فرآورده‌های فتوسنتزی به‌سمت دانه‌های در حال رشد در غلاف‌ها را به دنبال داشته و این موضوع سبب افزایش وزن ۱۰۰ دانه گوار شده است. غربائی طغرکان و همکاران (Ghorabaei Toghrekan et al., 2022) طی بررسی پاسخ اجزای عملکرد گوار به سطوح کودهای نیتروژن (در سه سطح ۲۰، ۶۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و فسفر (در دو سطح صفر و ۷۵ کیلوگرم در هکتار) در سه فاصله ردیف ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متر، بیشترین وزن هزار دانه را به‌میزان ۸۳/۵ گرم در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر در فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر مشاهده کردند. عبدزاد گوهری و همکاران (Abdzad Gohari et al., 2011) و سپیده‌دم و رمرودی (Sepideh Dam & Ramroudi, 2015) نیز به‌ترتیب در تحقیقی، افزایش وزن ۱۰۰ دانه بادام‌زمینی و وزن هزار دانه گندم را طی افزایش مقادیر کود نیتروژن گزارش کردند. به‌خصوص در تحقیق سپیده‌دم و رمرودی (Sepideh Dam & Ramroudi, 2015)، وزن دانه به‌طور کاملا متأثر از کود نیتروژن بود، به‌گونه‌ای‌که در تحقیق آن‌ها، با افزایش مصرف کود نیتروژن از صفر به ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار، وزن هزار دانه گندم نیز از ۳۷ به بیش از ۴۸ گرم افزایش یافت.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل کشت مخلوط و کود نیتروژن بر وزن ۱۰۰ دانه گوار

Table 6- Mean comparisons of interaction of intercropping and nitrogen fertilizer on 100 seeds weight of guar (g)

کشت مخلوط Intercropping arrangement	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer		
	عدم مصرف نیتروژن Non-nitrogen fertilizer	۵۰ درصد نیاز کودی 50% of fertilizer requirement	۱۰۰ درصد نیاز کودی 100% of fertilizer requirement
کشت خالص گوار Sole cultivation of guar	5.46	5.97	6.16
یک ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش One row of guar + one row of roselle	3.97	5.06	5.46
دو ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش Two row of guar + one row of roselle	4.06	4.90	5.16
سه ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش Three row of guar + one row of roselle	5.16	5.97	6.33
یک ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش One row of guar + two row of roselle	3.86	3.97	4.26
یک ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش One row of guar + three row of roselle	3.76	3.97	4.76
دو ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش Two row of guar + three row of roselle	3.97	5.16	5.36
سه ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش Three row of guar + two row of roselle	4.96	5.26	5.40
LSD 0.05 = 0.091			

عملکرد دانه

نتایج نشان داد که اثر متقابل کشت مخلوط و نیتروژن بر عملکرد دانه گوار معنی‌دار شد (جدول ۲)، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه در دو تیمار کشت خالص گوار و کشت سه ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز کودی مشاهده شد و در این دو تیمار، عملکرد دانه گوار به‌ترتیب به ۳۵۷ و ۳۵۵ گرم در مترمربع رسید (جدول ۷). پس از این دو تیمار، تیمارهای کشت خالص گوار و کشت سه ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز کودی، به‌ترتیب با عملکرد دانه از ۳۴۲ و ۳۳۳ گرم در مترمربع در رتبه بعدی قرار گرفتند. در تیمارهای مختلف کشت مخلوط، با افزایش مقدار نیتروژن از صفر به ۱۰۰ درصد نیاز کودی، عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۷). کمترین عملکرد دانه نیز در سه تیمار کشت یک ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش، کشت یک ردیف گوار + کشت سه ردیف چای ترش و کشت دو ردیف گوار + کشت دو ردیف چای ترش، هر سه در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن ملاحظه گردید (جدول ۷). مومن کیخا و همکاران(Momen-Keykha et al., 2018) نیز در بررسی اثر کشت مخلوط گوار با آفتابگردان گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه گوار در شرایط ۷۵ درصد گوار + ۲۵ درصد آفتابگردان و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن حاصل شد. علاوه‌بر این، چنین به نظر می‌رسد که نیتروژن تأثیر قابل توجهی در افزایش عملکرد دانه گوار داشته و با افزایش مصرف نیتروژن از صفر به ۱۰۰ درصد تأمین نیاز کودی، بخش بیشتری از ماده خشک تولیدشده به دانه‌ها اختصاص یافته و این موضوع سبب برتری معنی‌دار عملکرد

دانه در تیمارهای کشت مخلوط شده است. نتایج بررسی لک و همکاران(Lack et al., 2015) روی لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris*) نشان داد که مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع کود اوره شاخص سطح برگ، ماده خشک کل گیاه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و میزان پروتئین را در این گیاه افزایش داد. همچنین نتایج این تحقیق، با یافته‌های میرزاشاهی و همکاران (Mirza Shahi et al., 2017) که نشان دادند که تأمین ۱۰۰ درصد کود نیتروژن مورد نیاز ذرت موجب افزایش معنی‌دار اجزاء عملکرد و عملکرد آن گردید، همسو بود.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل کشت مخلوط و کود نیتروژن بر عملکرد دانه گوار

Table 7- Mean comparisons of interaction of intercropping and nitrogen fertilizer on seed yield of guar ($g.m^{-2}$)

کشت مخلوط Intercropping arrangement	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer		
	عدم مصرف نیتروژن Non-nitrogen fertilizer	۵۰ درصد نیاز کودی 50% of fertilizer requirement	۱۰۰ درصد نیاز کودی 100% of fertilizer requirement
کشت خالص گوار Sole cultivation of guar	315	342	357
یک ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش One row of guar + one row of roselle	248	296	320
دو ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش Two row of guar + one row of roselle	264	295	316
سه ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش Three row of guar + one row of roselle	311	333	355
یک ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش One row of guar + two row of roselle	261	264	265
یک ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش One row of guar + three row of roselle	255	265	286
دو ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش Two row of guar + three row of roselle	254	312	325
سه ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش Three row of guar + two row of roselle	309	314	323
LSD 0.05 = 10.4			

ویژگی‌های چای ترش

تعداد شاخه زایا

اثر کشت مخلوط و نیتروژن بر تعداد شاخه زایای چای ترش در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۸)، به‌طوری‌که پنج تیمار کشت خالص چای ترش، کشت یک ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش، کشت یک ردیف گوار + کشت دو ردیف چای ترش، کشت دو ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش و کشت یک ردیف گوار + کشت سه ردیف چای ترش، بیشترین میزان تعداد شاخه زایا را از خود نشان داده و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند و در این پنج تیمار، تعداد شاخه زایا به‌ترتیب ۸/۲۲، ۸/۴۴، ۸/۱۱، ۸/۳۳ و ۸/۰۱ بود (جدول ۹). به نظر می‌رسد که در ترکیب‌های تیماری کشت مخلوط، زمانی‌که بوته‌های چای ترش در کنار یک ردیف گوار کشت شده

باشند، تعداد شاخه زایا در آن‌ها افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، در آرایش‌های کشت مخلوط، افزایش تعداد ردیف‌های کشت گوار به بیش از یک ردیف سبب کاهش تعداد شاخه زایا در بوته‌های چای ترش می‌شود. در همین ارتباط گزارش شد که افزایش دما و نور محیط می‌تواند سبب افزایش تعداد شاخه زایا در گیاه چای ترش شود (Yazdan Panah, 2016). همچنین با افزایش مقدار کود نیتروژن، تعداد شاخه زایا نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و از ۶/۴۶ شاخه در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن، به نُه شاخه در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد کود نیتروژن رسید (جدول ۱۰). به نظر می‌رسد که بین میزان فراهمی عنصر غذایی نیتروژن و توان تولید تعداد شاخه زایا در بوته چای ترش ارتباط مستقیمی وجود داشته و افزایش میزان نیتروژن قابل دسترس گیاه از طریق کاربرد کود شیمیایی حاوی نیتروژن سبب افزایش تعداد شاخه زایا در چای ترش می‌گردد. با توجه به تأثیر نیتروژن در افزایش سطح برگ و سرعت رشد قسمت‌های هوایی تاج‌پوشش گیاه (Khoshouei et al., 2022; Goldani et al., 2016)، افزایش تعداد شاخه زایا در بوته‌های چای ترش، با افزایش مقادیر کود نیتروژن، منطقی به نظر می‌رسد. موسوی و همکاران (Moosavi et al., 2020) نیز در تحقیقی دریافتند که کاربرد کود نیتروژن، پتانسیل شاخه‌دهی چای ترش را به‌طور معنی‌داری افزایش داد و با افزایش مقدار کود نیتروژن مصرفی از صفر به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، تعداد شاخه‌های جانبی چای ترش نیز به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد.

وزن خشک اندام‌های هوایی

اثر کشت مخلوط و نیتروژن بر وزن خشک اندام‌های هوایی چای ترش در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۸)، به‌طوری‌که سه تیمار کشت خالص چای ترش، کشت یک ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش و کشت دو ردیف گوار + کشت سه ردیف چای ترش به‌ترتیب با ۱۹۹، ۲۰۰ و ۱۹۷ گرم در بوته بیشترین میزان وزن خشک اندام‌های هوایی را به خود اختصاص داده و در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین وزن خشک اندام‌های هوایی چای ترش نیز در تیمار کشت سه ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش مشاهده شد، به‌طوری‌که وزن خشک اندام‌های هوایی در این تیمار ۱۷۳ گرم در بوته بود (جدول ۹).

جدول ۸- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد چای ترش تحت شرایط کشت مخلوط و کود نیتروژن

Table 8- ANOVA (mean of squares) for yield and yield components of roselle under conditions intercropping and nitrogen fertilizer

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد شاخه زایا No. of fertile branches	وزن خشک اندام‌های هوایی Shoot dry weight	وزن خشک کاسبرگ Sepal dry weight
تکرار Replication	2	0.514	53.2	0.194
کشت مخلوط Intercropping arrangement (I)	7	7.22 **	664 **	5.61 **
خطای الف Error (a)	14	0.625	42.4	0.553
کود نیتروژن N fertilizer (N)	2	33.8 **	9616 **	77.2 **
کشت مخلوط × کود نیتروژن I × N	14	0.625 ns	19.5 ns	0.504 **
خطای ب Error (b)	32	0.319	13.7	0.150
ضریب تغییرات CV (%)	-	7.28	1.92	3.73

** و ns: به‌ترتیب، معنی‌دار در سطح یک درصد و غیرمعنی‌دار

** and ns: significant in 1% level and non-significant, respectively

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر کشت مخلوط بر تعداد شاخه زایا در بوته و وزن خشک اندام‌های هوایی چای ترش

Table 9- Mean comparisons of intercropping on no. of fertile branch and shoot dry weight of roselle

کشت مخلوط Intercropping arrangement	تعداد شاخه زایا در بوته No. of fertile branches per plant	وزن خشک اندام‌های هوایی Shoot dry weight (g.plant^{-1})
کشت خالص چای ترش Sole cultivation of roselle	8.22	199
یک ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش One row of guar + one row of roselle	8.44	200
دو ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش Two row of guar + one row of roselle	8.11	191
سه ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش Three row of guar + one row of roselle	5.66	173
یک ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش One row of guar + two row of roselle	8.33	193
یک ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش One row of guar + three row of roselle	8.01	193
دو ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش Two row of guar + three row of roselle	7.55	197
سه ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش Three row of guar + two row of roselle	7.77	194
	LSD 0.05 = 1.52	LSD 0.05 = 12.5

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر کود نیتروژن بر تعداد شاخه زایا در بوته و وزن خشک اندام‌های هوایی چای ترش

Table 10- Mean comparisons of nitrogen fertilizer on no. of fertile branch and shoot dry weight of roselle

کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	تعداد شاخه زایا در بوته No. of fertile branch in plant	وزن **خشک اندام‌های** هوایی Shoot dry weight (g.plant^{-1})
عدم مصرف نیتروژن Non-nitrogen fertilizer	6.46	172
۵۰ درصد نیاز کودی 50% of fertilizer requirement	7.83	193
۱۰۰ درصد نیاز کودی 100% of fertilizer requirement	9.00	212
	LSD 0.05 = 0.941	LSD 0.05 = 6.16

با توجه به بوته‌های بلندتر چای ترش نسبت به بوته‌های گوار از یک طرف، و کم عمق و کم حجم بودن بوته‌های گوار (MacMillan et al., 2021) از طرف دیگر، به نظر نمی‌رسد که تغییر تعداد ردیف‌های کشت گوار در کنار ردیف‌های کشت چای ترش، محدودیتی برای جذب نور توسط بوته‌های چای ترش ایجاد کند و میزان توانایی بوته‌های چای ترش در جذب عناصر غذایی در آرایش‌های مختلف کشت مخلوط سبب بروز تفاوت معنی‌دار در وزن خشک اندام‌های هوایی شده است. یزدان پناه (Yazdan Panah, 2016) در گزارشی اظهار داشت که انجام اقدامات زراعی بهینه، همچون انتخاب تاریخ کاشت مناسب برای چای ترش، تأثیر بسزایی در جذب آب و مواد غذایی در گیاه چای ترش داشته و این موضوع بر تجمع ماده خشک و در نهایت میزان زیست‌توده چای ترش به‌شدت تأثیرگذار است.

همچنین با افزایش مقدار کود نیتروژن، وزن خشک اندام‌های هوایی نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و از ۱۷۲ گرم در بوته در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن، به ۲۱۲ گرم در بوته در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد کود نیتروژن رسید (جدول ۱۰). با توجه به نقش نیتروژن در ساختمان مولکول کلروفیل، فراهمی آن برای سنتز هرچه بهتر مولکول‌های کلروفیل ضروری بوده (Taiz & Zeiger, 2010) و لذا تأثیر آن در افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی چای ترش منطقی به نظر می‌رسد. موسوی و همکاران (Moosavi et al., 2020) نیز در تحقیقی گزارش کردند که کاربرد کود نیتروژن، به واسطه تأثیر روی افزایش سطح برگ و تعداد شاخه‌های جانبی چای

ترش، در افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی آن تأثیرگذار است. در پژوهشی دیگر، محققان به تأثیر مثبت نیتروژن بر رشد و نمو ریشه به‌خصوص در شرایط کمبود آب اشاره کردند(Tran et al., 2014) .

وزن خشک کاسبرگ

اثر متقابل کشت مخلوط و نیتروژن بر وزن خشک اندام کاسبرگ چای ترش در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۸)، به‌طوری‌که به‌غیر از تیمار کشت سه ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش، تمامی سطوح تیماری کشت مخلوط در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز کودی، بیشترین وزن خشک کاسبرگ را از خود نشان دادند (جدول ۱۱). در تیمارهای مختلف کشت مخلوط، با افزایش مقدار نیتروژن از صفر به ۱۰۰ درصد نیاز کودی، وزن خشک کاسبرگ به‌طور معنی-داری افزایش یافت. کمترین وزن خشک کاسبرگ نیز در تیمار کاشت سه ردیف گوار + یک ردیف چای ترش در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن (۷/۸ گرم در بوته) مشاهده شد (جدول ۱۱). به‌طور کلی، در تیمار کشت سه ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش نسبت به سایر آرایش‌های کشت مخلوط در سطوح مشابه کود نیتروژن، وزن خشک اندام کاسبرگ کمتری از خود نشان داد. این در حالی است که در همین تیمار، وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد دانه گوار، بالاترین مقدار را به خود اختصاص دادند. لذا به نظر می‌رسد که در این نوع کشت مخلوط، جذب نور، آب و مواد غذایی به‌نفع بوته‌های گوار بوده باشد. علاوه‌بر این در این تحقیق، با افزایش مقدار نیتروژن از صفر به ۱۰۰ درصد نیاز کودی، در سطوح مختلف تیمار کشت مخلوط، وزن خشک کاسبرگ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت؛ امّا در هر یک از سطوح کود نیتروژن، اختلاف چندانی بین سطوح مختلف آرایش کشت مخلوط وجود نداشت. به‌عنوان مثال و همان‌طور که اشاره شد، از بین هشت تیمار کشت مخلوط موجود، هفت تیمار آن در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز کودی در یک گروه آماری قرار گرفتند. این نتایج نشان می‌دهند که چای ترش در مقایسه با گیاه گوار، چندان تحت تأثیر آرایش‌های کشت مخلوط قرار نگرفته و آنچه که عملکرد اقتصادی گیاه چای ترش (وزن خشک کاسبرگ) را تحت تأثیر قرار داده، کود نیتروژن بوده است. به نظر می‌رسد که این امر ناشی از تأثیر مثبت کود نیتروژن بر افزایش انشعابات ساقه (به‌خصوص شاخه‌های زایا) بوده باشد. ضمن آنکه گزارش شده است که نیتروژن، در تأمین پروتئین مورد نیاز دانه گرده برای حرکت در طول خامه و رسیدن آن به تخمک مؤثر بوده، طول عمر تخمک و زمان گرده‌افشانی را افزایش داده و بدین طریق درصد تشکیل گل و میوه را زیاد می‌کند (Rahemi, 2004)یافته‌های این تحقیق با نتایج تحقیقی دیگر در توافق است. موسوی و همکاران (Moosavi et al., 2020) نیز در تحقیقی گزارش کردند که با افزایش مقدار کود نیتروژن از صفر به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، وزن خشک کاسبرگ در چای ترش به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در پژوهشی دیگر، محققان گزارش کردند که با افزایش کاربرد کود نیتروژن، عملکرد کاسبرگ در چای ترش به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد(Timothy & Futuless, 2014) . سپاه‌روم و موسوی(Sepahrom & Moosavi, 2016) نیز افزایش معنی‌دار عملکرد خشک کاسبرگ را در چای ترش طی افزایش کود نیتروژن مصرفی از صفر به ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند.

نسبت برابری زمین (LER)

بررسی نتایج نسبت برابری زمین نشان داد که تنها تیماری که در آن، LER بیشتر از یک شده و کشت مخلوط آن توجیه‌پذیر است، تیمار کشت یک ردیف گوار + کشت سه ردیف چای ترش، در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز کودی می‌باشد (جدول ۱۲). به عبارت دیگر، تنها در این تیمار است که کشت مخلوط دو گونه مورد بررسی نسبت به وضعیت تک کشتی آن‌ها در استفاده از زمین، سودمندی نشان می-دهد. هنگامی‌که LER بیشتر از یک باشد، بیان‌کننده برتری کشت مخلوط نسبت به خالص می‌باشد (Feizabadi & Zare Emamverdian, 2012). علت کاهش LER در سایر تیمارهای کود نیتروژن و کشت مخلوط در این تحقیق را می‌توان به رقابت برون گونه‌ای بین دو گونه گوار و چای ترش نسبت داد. از طرف دیگر، توجیه‌پذیر بودن کشت مخلوط در تیمار کشت یک ردیف گوار + کشت سه ردیف چای ترش، در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز کودی را می‌توان به استفاده بهتر از منابع موجود توسط دو گیاه در این ترکیب تیماری نسبت داد. فتوحی چیانه و همکاران (Fotohi-Chianeh et al., 2012) نیز در مطالعه‌ای، توجیه‌پذیر بودن کشت مخلوط لوبیا و ذرت را توسط شاخص LER مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که در تمامی الگوهای کشت مخلوط، این نسبت، بیشتر از یک شد که نشان‌دهنده سودمندی در استفاده از زمین، در این الگوهای کشت می‌باشد.

جدول ۱۱- مقایسه میانگین اثر متقابل کشت مخلوط و کود نیتروژن بر وزن خشک کاسبرگ چای ترش

Table 11- Mean comparisons of interaction of intercropping and nitrogen fertilizer on sepal dry weight of roselle (g.plant^{-1})

کشت مخلوط Intercropping arrangement	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer		
	عدم مصرف نیتروژن Non-nitrogen fertilizer	۵۰ درصد نیاز کودی 50% of fertilizer requirement	۱۰۰ درصد نیاز کودی 100% of fertilizer requirement
کشت خالص گوار Sole cultivation of guar	9.13	11.1	12.8
یک ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش One row of guar + one row of roselle	8.60	11.1	12.6
دو ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش Two row of guar + one row of roselle	9.03	10.7	12.6
سه ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش Three row of guar + one row of roselle	7.76	8.93	9.76
یک ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش One row of guar + two row of roselle	8.53	10.4	12.6
یک ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش One row of guar + three row of roselle	9.46	12.2	12.8
دو ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش Two row of guar + three row of roselle	8.96	11.2	12.6
سه ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش Three row of guar + two row of roselle	8.43	11.1	12.4
LSD 0.05 = 0.645			

علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2010) نیز در بررسی کشت مخلوط ریحان و لوبیا عنوان کردند که تقریباً در تمامی تیمارهای کشت مخلوط، شاخص LER بیشتر از یک بود که حکایت از برتری کشت مخلوط ریحان و لوبیا بر کشت خالص آن‌ها داشت. در تحقیقی دیگر، شهبازی و همکاران (Shahbazi et al., 2021) در بررسی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط گوار و نعنا فلفلی گزارش کردند که در تمامی الگوهای کشت مخلوط، شاخص LER، بیشتر از یک بود. آن‌ها این موضوع را به فراهم شدن آشیانه بوم‌شناختی مناسب برای دو گونه، استفاده بهتر از منابع و بروز حداقل رقابت برون گونه‌ای بین دو گیاه نسبت دادند.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش، تقریباً در ویژگی‌های مورد بررسی در گوار، برتری با تیمار کشت سه ردیف گوار + کشت یک ردیف چای ترش در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز کودی بود و فقط این تیمار بود که در وزن خشک برگ، وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد دانه با تیمار کشت خالص گوار در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز کودی اختلاف معنی‌داری نداشت. از طرف دیگر، ویژگی‌های مورد بررسی در چای ترش، برتری با تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز کودی در سطوح مختلف آرایش کاشت بود؛ امّا بررسی نتایج نسبت برابری زمین نشان داد که تنها تیماری که کشت مخلوط آن توجیه‌پذیر است، تیمار کشت یک ردیف گوار + کشت سه ردیف چای ترش، در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز کودی می‌باشد. لذا به نظر می‌رسد که این ترکیب کشت مخلوط، برای کشاورزان علاقه‌مند به این نوع سیستم کاشت، مناسب باشد. کشت مخلوط برای گونه‌هایی با فنولوژی متفاوت، می‌تواند ضمن ایجاد تنوع زیستی و تضمین تولید، بهره‌وری از اراضی زراعی را نیز افزایش دهد.

جدول ۱۲- نسبت برابری زمین در تیمارهای کشت مخلوط گوار و چای ترش

Table 12- Land equivalent ratio (LER) in treatments of intercropping of guar and roselle

کشت مخلوط Intercropping arrangement	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer		
	عدم مصرف نیتروژن Non-nitrogen fertilizer	۵۰ درصد نیاز کودی 50% of fertilizer requirement	۱۰۰ درصد نیاز کودی 100% of fertilizer requirement
یک ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش One row of guar + one row of roselle	0.867	0.935	0.942
دو ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش Two row of guar + one row of roselle	0.888	0.897	0.917
سه ردیف کشت گوار + یک ردیف کشت چای ترش Three row of guar + one row of roselle	0.952	0.930	0.935
یک ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش One row of guar + two row of roselle	0.901	0.882	0.903
یک ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش One row of guar + three row of roselle	0.982	1.02	0.950
دو ردیف کشت گوار + سه ردیف کشت چای ترش Two row of guar + three row of roselle	0.914	0.970	0.956
سه ردیف کشت گوار + دو ردیف کشت چای ترش Three row of guar + two row of roselle	0.959	0.951	0.931

References

1. Abdzad Gohari, A., Amiri, E., & Majd Salimi, K. (2011). Yield evaluation and water use efficiency in peanut (*Arachis hypogaea* L.) under different levels of irrigation and nitrogen fertilizer. *Journal of Water Soil*, *25*(5), 994-1004. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v0i--.11207
2. Alizadeh, Y., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2010). Investigation of growth characteristics, yield, yield components and potential weed control in intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and vegetative sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agroecology*, *2*, 383-397. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.19011.2417
3. Araghian, S., Sadrabadi Haghighi, R., Ghasemi, M., & Sohani Darban, A.R. (2022). Yield response and intercropping index of *Quinoa* and *Guar* medicinal plants to different ratios of intercropping in Mashhad condition. *Crop Production Journal*, *14*(4), 85-104. (In Persian with English abstract).
4. Arshadi, J., & Asgharipour, M.R. (2011). The Effects of seed size on germination and early seedling growth of pelleted seeds of sugar beet. *Journal of Applied Sciences Research*, *7*(8), 1257-1260.
5. Arshadi, M.J., Khazaee, H.R., & Kafi, M. (2008). Effect of nitrogen topdress fertilizer application by using chlorophyll meter on yield and yield components of potato *(Agria cv.)*. *Agricultural Research*, *8*(1), 33-45. (In Persian with English abstract).
6. Arshadi, M.J., Khazaee, H.R., Nassiri Mahallati, M., & Agheli, O. (2010). Evaluation of effects of some important agronomic traits on potato yield and possibility determining of required time of potato crop to nitrogen fertilizer levels by chlorophyll meter. *Journal of Agroecology*, *2*(1), 231-142. (In Persian with English abstract).
7. Arshadi, M.J., Parsa, M., Lakzian, A., & Kafi, M. (2021). Evaluation of root traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under treatments of rhizobium, arbuscular mycorrhiza and pseudo-endomycorrhiza on conditions of sterilized and

non-sterile soil. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions, 2*(2), 241-254. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/csrar.2021.268645.1080

8. Bargaz, A., Isaac, M.E., Jensen, E.S., & Carlsson, G. (2015). Intercropping of faba bean with wheat under low water availability promotes faba bean nodulation and root growth in deeper soil layers. *Procedia Environmental Sciences, 29*, 111–112. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.188
9. Ehsani Pour, A., Abbasdokht, H., Gholi Pour, M., & Mashhadi, A.R. (2019). Evaluation of water productivity and some quantitative and qualitative traits of sugarcane in intercropping with legumes. *Journal of Crops Improvement, 21*(3), 223-246. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2019.276206.2168
10. Fotohi-Chianeh, S., Javanshir, A., Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Zand, E., Razavi, F., & Fotohi-Chianeh, E. (2012). Effect of various corn (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping densities on crop yield and weed biomass. *Journal of Agroecology, 4*(2), 131-143. (In Persian with English abstract).
11. Gao, Y., Duan, A., Sun, J., Li, F., Liu, Z., Liu, H., & Liu, Z. (2009). Crop coefficient and water - use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. *Field Crops Research, 111*, 65–73. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.10.007
12. Ghorabaei Toghrekan, Z., Aein, A., Afshar Manesh, G., Alavi Siney, M., & Shirzadi, M.H. (2022). Effect of different levels of nitrogen and phosphorus on growth and yield of guar plant (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) under varied planting row spacing in Jiroft`s climate. *Applied Research in Field Crops, 34*(4), 119-143. (In Persian with English abstract).
13. Goldani, M., Zare, H., & Kamali, M. (2016). Evaluation of different levels of nitrogen and phosphorus fertilizers on shoot and root characteristics of *Echinacea purpurea*. *Journal of Horticultural Sciences, 30*(3), 366-375. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V30I3.26615
14. Hauggaard-Nielson, H., & Jensen, E.S. (2001). Evaluating pea and barley cultivars for complementarity in intercropping at different levels of soil N availability. *Field Crops Research, 72*(3), 185-196. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00176-9
15. Hema, Y., & Shalendra, A. (2014). An analysis of performance of guar crop in India. Guar cultivation practices. p.17-31 Prepared by CCS National Institute of Agricultural Marketing and Jaipur for the United States Department of Agriculture (USDA), New Delhi.
16. Heydari, H., Dahmardeh, M., & Khomri, E. (2019). Evaluation of production in intercropping of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) with cowpea (*Vigna unguiculata* L.) in replacement series. *Iranian Journal of Field Crop Sciences, 50*(3), 157-167. (In Persian with English abstract).
17. Hossieni Nezhad, N. (2021). Effect of different levels of drought, ascorbic acid and calcium on some morpho-physiological and biochemical traits of *Cyamposis tetragonoloba*. M.Sc. Thesis, Faculty of Biology, University of Sistan and Baluchestan, Iran. (In Persian with English abstract).
18. Khoshouei, Z., Ashouri, M., Doroudian, H.R., Amiri, E., & Mohammadian Rowshan, N. (2022). Effect of irrigation management, municipal waste compost and nitrogen fertilizer on seed yield and some morpho-physiological traits of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Crop Science Research in Arid Regions, 3*(2), 339-357. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/CSRAR.2021.296728.1109
19. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feizi, H., & Amirmoradi, S. (2009). Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercropping canopy. *Journal of Agroecology, 1*, 13-23. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v1i1.2650
20. Lack, S., Kermanshahi, M., & Noryani, H. (2015). Changes in leaf area index, yield and yield components of green bean (*Phaseolus vulgaris*) with the application of zinc sulfate and nitrogen. *Journal of Crop Ecophysiology, 4*, 599-610. (In Persian with English abstract).
21. MacMillan, J., Shrestha, R., Adams, C., Hinson, P.O., & Trostle, C. (2021). The root system of guar: Spatial and temporal analysis of root and nodule development. *Annals of Applied Biology, 179*(3), 278-287. https://doi.org/10.1111/aab.12697
22. Majnoon Hosseini, N. (2015). Cultivation and Production of Legumes. Jahad University Publication of Tehran. (In Persian).
23. Mirza Shahi K., Nejad, A.P., & Omidvari, S. (2017). Effect of crop rotation and management of nitrogen and crop residue consumption on maize yield of single cross 704 cultivar and some soil chemical properties. *Iranian Journal of Soil Research, 30*(2), 115-124. (In Persian with English abstract).

24. Momen-Keykha, M., Khammari, I., Dahmardeh, M., & Forouzandeh, M. (2018). Assessing yield and physiological aspects of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) intercropping under different levels of nitrogen. *Journal of Agroecology, 9*(4), 1050-1069. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V9I4.51084
25. Moosavi, Gh., Javadi, H., Seghatoleslami, M.J., & Salaviti, M. (2020). Effect of nitrogen and plant density on morphological traits and yield components of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in Iranshahr climatic conditions. *Journal of Horticultural Plants Nutrition, 3*(1), 105-120. (In Persian with English abstract).
26. Mostafavi Rad, M., Nobahar, A., Gholami, M., Ajili Lahiji, A., Bonyadi, I., Adibi, Sh., Rahimian, M.R., & Akbarzadeh, E. (2016). Quantitative and qualitative response of peanut (*Arachis hypogaea* L.) to starter nitrogen application. *Journal of Oil Plants Production, 2*(2), 59-75. (In Persian with English abstract).
27. Nasrollahzadeh, A. (2017). Effects of nitrogen and phosphate biofertilizers on morphological and agronomic characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Open Journal of Ecology, 7*, 101-111. https://doi.org/10.4236/oje.2017.72008
28. Pathak, R., & Roy, M.M. (2015). Climatic responses, environmental indices and interrelationships between qualitative and quantitative traits in cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L. Taub.) under arid conditions. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: *Biological Sciences, 85*(1), 147-154. https://doi.org/10.1007/s40011-013-0269-4
29. Rahemi, M. (2004). Pollination and Fruit Formation. Publication of Shiraz University, Shiraz, Iran. (In Persian).
30. Salvagiotti, F., Cassman, K.G., Specht, J.E., Walters, D.T., Weiss, A., & Dobermann, A. (2008). Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research, 108*(1), 1-13. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.03.001
31. Sarmad Nia, Gh.H., & Koocheki, A.R. (2013). Crop Physiology. Tehran University Publication. (In Persian with English abstract)
32. Schlemmer, M.R., Francis, D.D., Shanahan, J.F., & Schepers, J.S. (2005). Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agronomy Journal, 97*, 106-112. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0106
33. Sepahrom, A., & Moosavi, S.G. (2016). The effect of irrigation and nitrogen levels on morphological traits yield and yield components of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 32*(3), 436-449. (In Persian with English abstract).
34. Sepideh Dam, S., & Ramroudi, M. (2015). The effect of tillage and nitrogen fertilization systems on yield, yield components and grain protein of wheat. *Journal Plant Ecophysiology Applied Research, 2*(2), 33-47. (In Persian with English abstract).
35. Shahbazi, M., Khodaei-Joghan, A., Moradi-Telavat, M.R., & Moshatati, A. (2021). Effect of simultaneous and overlapped intercropping ratios on essential oil yield of peppermint (*Mentha piperita* L.) and forage quality of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences, 23*(2), 127-141. (In Persian with English abstract). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.15625540.1400.23.2.3.9
36. Shahghasi, M., Seghatoleslami, M.J., Moosavi, G.R., & Nakhaei, F. (2023). To study the effect of irrigation, plant density and salicylic acid on yield and yield components of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Journal of Crop Science Research in Arid Regions, 4*(2), 487-502. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/CSRAR.2023.326353.1184
37. Singh, S.K. (2014). An analysis of guar crop in India. Report prepared by NIAM, Jaipur for the United States Department of Agriculture (USDA), New Delhi.
38. Singla, S., Grover, K., Angadi, S., Begna, S., Schutte, B., & Leeuwen, D. (2016). Growth and yield of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes under different planting dates in the semi-arid southern high plains. *American Journal of Plant Sciences, 7*(8), 1246-1258. https://doi.org/10.4236/ajps.2016.78120
39. Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). Plant Physiology. 5th ed. Sinauer Associates. Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts, USA. 782 p.
40. Timothy, E.L., & Futuless, K.N. (2014). Influence of sowing date and different levels of nitrogen fertilizer on the performance of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in Nigeria. Research and Reviews: *Journal of Agriculture and Allied Sciences, 3*(1), 5-8.
41. Tran, T.T., Kano-Nakata, M., Takeda, M., Menge, D., Mitsuya, S., Inukai, Y., & Yamauchi, A. (2014). Nitrogen

application enhanced the expression of developmental plasticity of root systems triggered by mild drought stress in rice. *Plant and Soil, 378*, 139-152. https://doi.org/10.1007/s11104-013-2013-5

42. Vandermeer, J.H. (1989). The Ecology of Intercropping, Cambridge. University Press. 297 p.
43. Yazdan Panah, M. (2016). The effect of different levels of irrigation, sowing date and fertilizer management on yield and yield components of hibiscus (*Hibiscus sabdariffa* L.) under Minab conditions. Ph.D. Dissertation. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).
44. Zare Feizabadi, A., & Emamverdian, A.G. (2012). Effect of mixed cropping on yield and agronomic characteristics of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agroecology*, *4*(2), 144-150. (In Persian with English abstract).

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 3, 2025, p. 403-419

The Effect of Different Planting Systems on Seedling Growth, Quantitative Characteristics and Quality of Rice (*Oryza sativa* L.) in the Nursery and Field Conditions

Omid Monemi Amiri[1], Soroor Khorramdel[2*], Alireza Koocheki[3] and Norman Uphoff[4]

1- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Cornell University, University of California, Berkeley
(*- Corresponding author's Email: khorramdel@um.ac.ir)

Received: 16-03-2025
Revised: 08-07-2025
Accepted: 12-07-2025
Available Online: 26-11-2025

How to cite this article:
Monemi Amiri, O., Khorramdel, S., Koocheki, A., & Uphoff, N. (2025). The effect of different planting systems on seedling growth, quantitative characteristics and quality of rice (*Oryza sativa* L.) in the nursery and field conditions. *Journal of Agroecology, 17*(3), 403-419. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/agry.2025.92684.1237

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is recognized as one of the earliest cultivated crops, providing essential nutrients for human growth and health. One of the major challenges today is the severe limitation of arable land available for rice production. This issue is particularly critical in countries with arid and semi-arid climates and limited water resources, such as Iran, where rice cultivation requires substantial amounts of water. Ecological intensification is an approach that optimally utilizes natural resources to enhance productivity while minimizing negative environmental impacts. The present study aimed to investigate the effects of various cultivation systems on the quantitative and qualitative characteristics of rice (Tarom Hashemi cultivar).

Materials and Methods

This study was conducted through two separate experiments based on a randomized complete block design with four replications, under nursery and field conditions in the city of Babol, Iran, during the 2022 and 2023 growing seasons. The experimental treatments included three cultivation systems: the System of Rice Intensification (SRI), an intermediate system, and a traditional system. In the nursery, seed densities for the ecological intensification, intermediate, and traditional systems were set at 100, 200, and 300 $g.m^{-2}$, respectively. In field conditions, treatments included transplanting ages of seedlings (20, 30, and 40 days), planting densities (25, 30 and 20 $plants.m^{-2}$), irrigation regimes (water deficit as alternative water, saturated irrigation at the soil level, and permanent waterlogging in 10 cm above the soil), and the number of seedlings (1, 4, and 8 seedlings per hill). The traits under investigation included seedling length, stem diameter, and root diameter at the time of transplanting from the nursery to the field. Evaluated quantitative traits included growth characteristics (panicle length), yield components (percentage of unfertile grains and number of productive tillers), biological yield, paddy yield, harvest index, and quality traits (amylose content and gel consistency temperature).

Authors retain the copyright.This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

https://doi.org/10.22067/agry.2025.92684.1237

Results and Discussion

The results from the nursery experiment indicated that the main effect of planting systems on stem length, stem diameter, and root diameter of seedlings was significant. Except for root length, the interaction between year and planting systems was not significant for the other traits in the nursery. In the ecological intensification system, stem diameter, stem length, and root diameter measured 24.5 cm, 4.1 mm, and 0.52 cm, respectively. In both years, the longest root length observed was 13 cm in the ecological intensification system. In contrast, the lowest values for these traits were recorded in the traditional system. The examination of quantitative traits of rice in field conditions revealed significant interaction effects between year and planting systems on the number of fertile tillers. The highest number of fertile tillers was recorded for SRI. The effect of planting systems was significant on both biological yield and paddy yield. The maximum biological yield (2.9 kg/ha) and paddy yield (0.83 kg/ha) were associated with SRI. The highest amylose content and gel consistency temperature were found in the ecological intensification system (with 22.7% and 3.7, respectively), while the traditional system exhibited the lowest values (with 21.5% and 3.0, respectively). Correlation coefficients between paddy yield with panicle length ($r = 0.98^{**}$), number of fertile tillers ($r = 0.99^{**}$), and biological yield ($r = 0.97^{**}$) were all positive and statistically significant at the 1% probability level.

Conclusion

Overall, the results of this study demonstrate that the ecological intensification system outperformed the other management systems and can be considered an effective approach in ecological management. This contributes to sustainable production, food security, and improvements in environmental characteristics.

Keywords: Amylose content, Fertile tillers, Gel consistency temperature, System of rice intensification

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱٤۰٤، ص ٤۱۹-٤۰۳

تأثیر نظام‌های مختلف کشت بر رشد گیاهچه و ویژگی‌های کمّی و کیفی برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط خزانه و مزرعه

امید منعمی امیری[۱]، سرور خرم دل[۱*]، علیرضا کوچکی[۱] و نورمن آپ هاف[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۱

چکیده

برنج (*Oryza sativa* L.) به‌عنوان یکی از محصولات راهبردی کشاورزی، به‌طور چشمگیری تحت تأثیر نظام‌های مختلف کشت قرار می‌گیرد و نقش حیاتی در تأمین امنیت غذایی در جهان دارد. این پژوهش با هدف بررسی اثر نظام‌های مختلف رایج و فشرده‌سازی اکولوژیک بر رشد گیاهچه، عملکرد دانه و خصوصیات کیفی برنج (رقم طارم هاشمی) طی دو آزمایش جداگانه در شرایط خزانه و مزرعه در مزرعه شخصی واقع در شهرستان بابل در دو سال زراعی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش در خزانه شامل سه مقدار مصرف بذر (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم در مترمربع به‌ترتیب برای نظام‌های فشرده‌سازی اکولوژیک، حدواسط و رایج) بود. در مزرعه، تیمارهای سه نظام مدیریتی شامل فشرده‌سازی اکولوژیک (یک گیاهچه در هر کپه، کم‌آبیاری به‌صورت متناوب، تراکم ۱۱ بوته در مترمربع و سن گیاهچه ۲۰ روزه)، رایج یا سنتی (هشت گیاهچه در هر کپه، آبیاری به‌صورت ۱۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح خاک، تراکم ۲۵ بوته در مترمربع و سن گیاهچه ۴۰ روزه) و حد واسط (چهار گیاهچه در هر کپه، آبیاری به‌صورت اشباع در سطح خاک، تراکم ۱۶ بوته در مترمربع و سن گیاهچه ۳۰ روزه) بودند. نتایج آزمایش در بخش خزانه نشان داد که اثر اصلی نظام‌های کاشت بر طول و قطر طوقه و نیز قطر ریشه گیاهچه معنی‌دار بود. البته به‌غیر از عمق نفوذ ریشه، اثر متقابل سال و نظام‌های کشت بر سایر صفات غیرمعنی‌دار بود، به‌طوری‌که طول و قطر طوقه گیاهچه و قطر ریشه در نظام فشرده‌سازی اکولوژیک به‌ترتیب برابر با ۲۴/۵ سانتی-متر، ۴/۱ میلی‌متر و ۰/۵۲ میلی‌متر بودند که برتر از سایر نظام‌ها تعیین شد. در هر دو سال، بیشترین عمق نفوذ ریشه به نظام فشرده‌سازی اکولوژیک اختصاص داشت. در مقابل، کمترین مقادیر این صفات برای نظام رایج مشاهده شد. بررسی صفات کمّی در شرایط مزرعه نشان داد که اثر متقابل سال و نظام‌های کشت بر تعداد پنجه بارور معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین پنجه بارور (۲۹/۵ پنجه در بوته) برای نظام فشرده‌سازی اکولوژیک مشاهده شد. اثر نظام‌های کشت بر عملکرد زیستی و عملکرد دانه معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد زیستی (۲۹۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد دانه (۸۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) برای نظام فشرده‌سازی اکولوژیک مشاهده شد. همچنین بیشترین درصد آمیلوز و نمره ژلاتینه شدن در نظام فشرده‌سازی اکولوژیک (به‌ترتیب با ۲۲/۷ درصد و ۳/۷) مشاهده شد و کمترین میزان برای نظام رایج (به‌ترتیب با ۲۱/۵ درصد و ۳/۰) به دست آمد. به‌طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که نظام فشرده‌سازی اکولوژیک در مقایسه با سایر نظام‌های مدیریتی، عملکرد دانه بیشتری داشت و به‌عنوان نوعی رویکرد کارآمد می‌تواند در مدیریت اکولوژیک تولید برنج مدنظر قرار گرفته که بر این اساس، به تولید پایدار، امنیت غذایی و بهبود ویژگی‌های زیست‌محیطی نیز کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تعداد پنجه بارور، درصد آمیلوز، سیستم فشرده‌سازی اکولوژیک، نمره ژلاتینه شدن

۱- گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- دانشگاه کرونل، دانشگاه کالیفرنیا، برکلی
(*- نویسنده مسئول: Email: khorramdel@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2025.92684.1237

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) به‌عنوان یکی از نخستین گیاهان زراعی شناخته‌شده، عناصر غذایی ضروری را برای رشد و سلامت انسان فراهم می‌آورد. این گیاه با تأمین انرژی، ویتامین‌ها و مواد معدنی ضروری، نقش مهمی در تغذیه میلیاردها نفر در سراسر جهان ایفا می‌نماید (Rodríguez Coca et al., 2023). برنج به‌ویژه در تأمین امنیت غذایی نقش حیاتی دارد و به‌عنوان غذای اصلی نزدیک به نیمی از جمعیت جهان مطرح بوده و اهمیت زیادی در معیشت مردم ایفا می‌کند (Wakasa, 2024). از نظر گستردگی سطح زیرکشت، برنج پس از گندم (*Triticum aestivum* L.) در رتبه دوم، در مقایسه بین غلات قرار داشته و سهم عمده‌ای در تغذیه جهانی، به‌ویژه در ایران بر عهده دارد (Modarresi, 2023). مطابق آخرین آمار سازمان خواروبار و کشاورزی، سالانه حدود ۵۱۰ میلیون تن برنج سفید در ۱۶۷ میلیون هکتار سطح زیرکشت در دنیا تولید می‌شود (FAO, 2023). براساس آخرین آمار وزارت جهاد کشاورزی در ایران، استان‌های گیلان با ۲۲۰ هزار هکتار، مازندران با ۲۱۴ هزار هکتار، گلستان با ۱۰۰ هزار هکتار و خوزستان با ۱۸۰ هزار هکتار شالیزار به‌عنوان قطب‌های اصلی تولید برنج در کشور شناخته می‌شوند (Agricultural Statistics, 2023).

یکی از مشکلات عمده‌ای که امروزه در تولید برنج و سایر محصولات کشاورزی مطرح می‌باشد، محدودیت‌های شدید مربوط به سطح زیرکشت بوده که به‌ویژه با توجه به نیاز بالای این گیاه به آب، این محدودیت‌ها در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک چون ایران تشدید می‌شود (Prasad et al., 2017). در این کشورها، کاهش منابع آب شیرین و بحران‌های مرتبط با آن، تولید برنج را با چالش‌های جدی مواجه کرده و نیاز به مدیریت بهینه منابع زمین و آب را دوچندان می‌کند (Mansour Ghanaei-Pashaki et al., 2022). در قاره آسیا، بیش از ۸۰ درصد منابع آب شیرین در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و نیمی از این مقدار به تولید برنج اختصاص می‌یابد (Arouna et al., 2023) که این موضوع نشان‌دهنده وابستگی شدید تولید این محصول به منابع آب است.

نظام فشرده‌سازی اکولوژیک رویکردی است که آثار منفی بر محیط زیست را به حداقل می‌رساند (Mahdavi Damghani et al., 2019). این نظام با کاهش نیاز به زمین، آب و سایر منابع طبیعی منجر به تولید بیشتر و پایدارتر از طریق کشت دقیق می‌شود. در همین راستا، نظام فشرده‌سازی برنج (SRI[1]) به‌عنوان روشی نوین معرفی شده که به‌طور چشمگیری مصرف آب و کودهای شیمیایی را نیز کاهش می‌دهد (Chowdhury et al., Uphoff et al., 2013; 2014). روش SRI با اعمال تغییرات اساسی در شیوه‌های سنتی مدیریت برنج شامل خزانه، کاشت، داشت و آبیاری، نه‌تنها منجر به کاهش مصرف منابع می‌شود، بلکه می‌تواند به افزایش عملکرد و کیفیت دانه نیز کمک کند. به‌عنوان مثال، یکی از اصول کلیدی در اجرای این روش، کاشت گیاهچه‌های جوان (با سن ۸ تا ۱۲ روز) بوده که باعث بهبود استقرار گیاهچه و افزایش توانایی این گیاهان در تولید پنجه شده و به‌طور کلی، افزایش عملکرد را به دنبال دارد (Thakur et al., 2014). بر این اساس، مشخص است که در مقایسه با روش‌های سنتی که در آن گیاهچه‌ها در سنین بالاتر و با تعداد بیشتر به زمین اصلی منتقل می‌شوند، نظام فشرده‌سازی اکولوژیک از طریق مدیریت و دانش بیشتر با تأکید بر پنجه‌زنی بیشتر، استقرار بهتر و زودهنگام گیاهچه‌ها، عملکرد را به‌طور چشمگیری بهبود می‌بخشد.

یکی از چالش‌های اصلی پذیرش این روش توسط کشاورزان، نگرانی از استقرار گیاهچه‌های کوچک در زمین اصلی بوده که با کاهش تراکم بذر در خزانه و تولید گیاهچه‌های قوی‌تر قابل جبران می‌باشد (Arsil et al., 2019). علاوه‌بر این، کاهش تراکم بذر در خزانه منجر به بهبود پنجه‌زنی و همچنین تولید گیاهچه‌های قوی‌تر می‌شود که رشد علف‌های هرز را کاهش داده و در نتیجه نیاز به استفاده از علف‌کش‌ها را نیز به حداقل می‌رساند (Thakur et al., 2011). برخی محققان نیز نتیجه گرفتند که فاصله بیشتر بین گیاهچه ها به بهبود جذب نور و عناصر غذایی کمک می‌کند و همچنین باعث کاهش تلفات ناشی از نفوذ عمقی و هرزآب می‌شود (Ungureanu et al., 2020). این ویژگی‌ها باعث می‌شود تا نظام فشرده برنج به‌عنوان نوعی راه‌حل کارآمد و پایدار در کشاورزی در مناطق مختلف تولید این محصول، به‌ویژه در کشورهای با محدودیت منابع آبی مطرح باشد. از مزایای دیگر این نظام، کاهش مصرف بذر و هزینه‌های تولید است. در این راستا، گزارش شده است که اجرای SRI می‌تواند عملکرد برنج را تا ۴۷ درصد افزایش و هزینه‌های تولید را تا ۲۳ درصد کاهش دهد (Paul et al., 2018) که این امر نشان‌دهنده پتانسیل بالای این

1- System of Rice Intensification (SRI)

روش برای بهبود بهره‌وری اقتصادی کشاورزان است. در این راستا، نتایج پژوهشی روی بررسی تأثیر شیوه‌های آبیاری و سن بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج در دو نظام کشاورزی رایج و فشرده-سازی نشان داد که در تیمار غرقاب، تعداد پنجه‌ها بیشتر و عملکرد زیستی بالاتر بود. همچنین کمترین عملکرد در تیمار کم‌آبیاری و بیشترین عملکرد در تیمار غرقاب مشاهده شد. بر این اساس، برای افزایش تولید و صرفه‌جویی در مصرف آب، استفاده از کم‌آبیاری و سن بوته جوان (۳۹ روز) توصیه شده است (Shokhmegar et al., 2019).

با توجه به محدودیت منابع آبی به‌ویژه در کشورهای خشک و نیمه‌خشک مانند ایران و همچنین ضرورت افزایش تولید برنج به‌عنوان گیاهی اصلی برای تأمین امنیت و معیشت جمعیت روبه‌رشد در دنیا، به‌منظور پاسخگویی به تقاضای فزاینده، به‌کارگیری مدیریت نظام‌های اکولوژیک و نوآورانه‌ای مانند SRI امری اجتناب‌ناپذیر است. این راهکار مدیریتی همچنین کیفیت و کمیت دانه تولیدی را بهبود می‌بخشد. ازاین‌رو، این مطالعه با هدف بررسی و مقایسه ویژگی‌های رشد، عملکرد کمّی و کیفی دانه در نظام‌های مختلف کشت شامل فشرده‌سازی اکولوژیک، رایج (سنتی) و حدواسط در شرایط مزرعه و خزانه طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و اقلیمی محل اجرای آزمایش

این آزمایش در مزرعه‌ای شخصی واقع در شهر امیرکلا در استان مازندران در دو سال زراعی ۰۱-۱۴۰۰ و ۰۲-۱۴۰۱ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. ارتفاع شهر امیرکلا از سطح دریا بین ۲۰ الی ۲۵ متر و میزان بارندگی آن بین ۵۰۰ الی ۷۵۰ میلی‌متر در سال متغیر است. اطلاعات هواشناسی ماهیانه محل اجرای آزمایش در هر دو سال زراعی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک محل اجرای آزمایش در دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱

Table 1- Meteorological information from the synoptic station where the experiment was conducted in the 2021-2022 and 2022-2023 growing seasons

ماه Month	بارش Precipitation (mm)		دمای حداقل Minimum temperature (°C)		دمای حداکثر Maximum temperature (°C)		ساعات آفتابی Sunshine duration (hr)	
	۱۴۰۰ 2021	۱۴۰۱ 2022	۱۴۰۰ 2021	۱۴۰۱ 2022	۱۴۰۰ 2021	۱۴۰۱ 2022	۱۴۰۰ 2021	۱۴۰۱ 2022
فروردین March	8.9	28.9	12.3	11.3	19.7	19	192	173
اردیبهشت April	18.5	40.1	17	15.9	22.6	21.9	182	163
خرداد May	10.7	6.60	22.5	19.8	29	27.7	272	316
تیر June	19.5	7.20	24.8	23.4	32.9	31.3	257	310
مرداد July	27.7	28.5	25.3	24.2	33	31.7	240	228
مجموع بارندگی Annual rainfall (mm)	85.3	111.3	-	-	-	-	-	-

تیمارهای آزمایش در خزانه و مزرعه

سه نظام کشت شامل فشرده‌سازی اکولوژیک[1]، رایج[2] یا سنتی و حد واسط[3] به‌عنوان تیمارها مدنظر قرار گرفتند و آزمایش در دو بخش در شرایط خزانه و مزرعه اجرا شد. در بخش اول آزمایش در شرایط خزانه، تیمارهای آزمایش شامل سه مقدار مصرف بذر (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم در مترمربع به‌ترتیب برای نظام‌های فشرده‌سازی اکولوژیک، حدواسط و رایج) بود. در بخش دوم آزمایش در شرایط مزرعه، تیمارها شامل سه نظام مدیریتی به‌صورت فشرده‌سازی اکولوژیک (شامل یک

1- Ecological Intensification or SRI
2- Conventional system
3- Intermediate system

گیاهچه در هر کپه، کم‌آبیاری به‌صورت متناوب، تراکم ۱۱ بوته در مترمربع و سن گیاهچه ۲۰ روزه)، رایج (هشت گیاهچه در هر کپه، آبیاری به‌صورت ۱۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح خاک، تراکم ۲۵ بوته در مترمربع و سن گیاهچه ۴۰ روزه) و حدواسط (شامل چهار گیاهچه در هر کپه، آبیاری به‌صورت اشباع در سطح خاک، تراکم ۱۶ بوته در مترمربع و سن گیاهچه ۳۰ روزه) بودند که مطابق با جدول ۲ اجرا شدند. لازم به ذکر است که آرایش کاشت در کلیه نظام‌ها در مزرعه به‌صورت دستی و الگوی مربع بود. بر این اساس، فاصله روی ردیف و بین ردیف برای سه نظام فشرده‌سازی اکولوژیک، رایج و حد واسط به‌ترتیب برابر با ۳۰×۳۰، ۲۰×۲۰ و ۱۵×۱۵ سانتی‌مترمربع در نظر گرفته شد.

در مزرعه مورد بررسی، در سال قبل از آزمایش نیز برنج کاشته شده بود. قبل از شروع آزمایش، به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در هر دو سال چند نمونه تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک برداشت و به آزمایشگاه تخصصی آنالیز خاک در شهرستان بابل ارسال شد (جدول ۳).

جدول ۲- خصوصیات نظام‌های کاشت برنج در شرایط مزرعه

Table 2- Characteristics of rice planting systems in the field

نظام‌های کاشت Planting systems	سن گیاهچه Seedling age (days)	تراکم کاشت (بوته در مترمربع) Planting density (plants.m^{-2})	آبیاری Irrigation	تعداد گیاهچه در هر کپه Number of seedlings per hill
فشرده‌سازی اکولوژیک Ecological intensification	20	11	کم‌آبیاری به‌صورت متناوب Water deficit as alternative water	1
حدواسط Intermediate	30	16	اشباع در سطح خاک Saturation at the soil level	4
رایج Conventional	40	25	غرقاب دائم به‌صورت ۱۰ سانتی‌متر بالای خاک Permanently submerged 10 cm above the soil	8

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 3- Physical and chemical properties of soil

سال Year	بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	نیتروژن در دسترس N (%)	فسفر P (mg.kg^{-1})	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	کربن آلی Organic C. (%)	ماده آلی Organic matherial (%)
۱۴۰۱-۱۴۰۰ 2021-2022	لومی Loam	7.50	1.94	0.13	44	237	1.32	2.28
۱۴۰۲-۱۴۰۱ 2022-2023	لومی Loam	7.59	1.96	0.11	38	215	1.28	2.19

عملیات زراعی

ضدعفونی و خیساندن بذر برنج رقم طارم هاشمی (که از مرکز خدمات جهاد کشاورزی شهرستان بابل تهیه شد) در هفته اول فروردین ماه در سه مرحله شامل جداسازی بذرهای پوک، ضدعفونی با قارچ‌کش و انتقال بذر به گرم‌خانه انجام شد.

در هر دو سال، آزمایش از روز هفتم فروردین ماه با خیساندن بذرها شروع شد و در روز پانزدهم فروردین ماه بذرهای جوانه‌زده با طول ساقه‌چه و ریشه‌چه نرمال (به‌ترتیب برابر با ۱۰-۵ و ۱۵-۱۰ میلی‌متر) به خزانه انتقال داده شدند.

ابعاد هر کرت در خزانه یک در یک مترمربع در نظر گرفته شد. در خزانه، شرایط آبیاری و دما یکسان بود و تنها میزان بذر مصرفی در مترمربع به‌عنوان تیمار مدنظر قرار گرفت.

ابعاد هر کرت در زمین اصلی چهار در چهار متر در نظر گرفته شد. در هر دو سال زراعی پس از عملیات آماده‌سازی زمین، انتقال گیاهچه ها به مزرعه برای نظام فشرده‌سازی اکولوژیک در هفته اول اردیبهشت ماه، برای نظام حدواسط در هفته دوم اردیبهشت ماه و

برای نظام رایج در اواخر هفته سوم اردیبهشت ماه (براساس عرف منطقه) انجام شد. یک ماه پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها در مزرعه، آبیاری براساس توضیحات ارائه‌شده در جدول ۲ اعمال گردید. بر این اساس، در نظام فشرده‌سازی اکولوژیک پس از رسیدن ارتفاع آب به ۱۰ سانتی‌متر، آبیاری قطع شد تا سطح آب پایین رفته و سله‌ها و ترک‌های روی سطح خاک مشخص شود. در نظام حدواسط نیز آبیاری تا ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر از سطح خاک انجام شد و وقتی آب به سطح خاک رسید، آبیاری مجدد اعمال شد. در نظام رایج نیز دائماً حالت غرقاب بر سطح خاک حفظ شد و نوسان آبیاری در لایه ۱۰–۵ سانتی‌متری سطح زمین ثابت ماند.

وجین علف‌های هرز به‌طور دستی و مستمر در طول فصل رشد تا زمان بسته‌شدن تاج‌پوشش گیاهی انجام گرفت. به‌منظور اجرای آزمایش در شرایط کم‌نهاده، در هنگام آماده‌سازی زمین و در طول فصل رشد، هیچ‌گونه نهاده شیمیایی از جمله سم و کود شیمیایی استفاده نشد. البته لازم به ذکر است که در طول دوره رشد آزمایش، هیچ‌گونه آفت یا بیماری خاصی مشاهده نشد.

اندازه‌گیری صفات

در بخش اول آزمایش در خزانه و قبل از نشاکاری، طول ساقه از محل طوقه تا نوک بلندترین برگ با متر مهندسی، قطر طوقه با استفاده از کولیس، عمق نفوذ ریشه با استفاده از کاغذ میلی‌متری و قطر ریشه از قطورترین قسمت، با استفاده از لنز و دوربین ماکرو و صفحه مدرج با دقت یک صدم میلی‌متر اندازه‌گیری و ثبت شد.

برداشت و اندازه‌گیری صفات در بخش دوم عملیات در مزرعه، ۹۰ روز پس از نشاکاری آغاز شد. صفات اندازه‌گیری‌شده شامل تعداد پنجه‌های بارور، طول خوشه (از پایه تا نوک خوشه) و درصد سنبلچه‌های پوک بودند که قبل از برداشت ۱۰ بوته مورد آزمایش اندازه‌گیری و ثبت گردید. به این منظور، تمامی دانه‌ها از خوشه‌ها جدا شده، تعداد دانه‌های پر (بارور) و سنبلچه‌های پوک شمارش و درصد سنبلچه‌های پوک محاسبه شد. همچنین در پایان فصل رشد، عملکرد دانه و عملکرد زیستی گیاه از سطح یک مترمربع اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت نیز با استفاده از نسبت عملکرد دانه بر عملکرد زیستی محاسبه شد. این عملیات در هر دو سال اجرای آزمایش تکرار گردید.

خصوصیات کیفی شامل درصد آمیلوز و نمره ژلاتینه شدن تنها در سال اول آزمایش، در مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در استان مازندران شهر آمل اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری درصد آمیلوز، از روش کالرومتریک در طول موج ۶۲۰ نانومتر با تشکیل کمپلکس ید–نشاسته(Juliano, 1971; Habibi Kiahabadi, 2007) و دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Apel PD-303) استفاده شد. بدین منظور، پس از ۲۲ دقیقه، تغییر رنگ نشاسته به رنگ آبی در مجاورت ید مشاهده شد و جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۰ نانومتر قرائت گردید. لازم به ذکر است که درصد آمیلوز براساس رتبه‌بندی‌های ۹–۳، ۱۹–۱۰، ۲۴–۲۰ و ۳۳–۲۵ درصد به‌ترتیب شامل مقادیر خیلی پایین، پایین، متوسط و بالا تعیین می‌گردد (Habibi Kiahabadi, 2007). برای اندازه‌گیری نمره ژلاتینه شدن، از روش جولیانو (Juliano, 1982) استفاده شد. در این روش، دانه‌های برنج در محلول رقیق پتاسیم هیدروکسید قرار داده شده و درجه حل شدن دانه‌ها در محیط قلیایی براساس نمره‌دهی تعیین شد. نمره‌دهی نمونه‌ها در این روش بین یک تا هفت است که در رتبه یک، دانه‌ها تحت تأثیر محلول قرار نمی‌گیرند و بالاترین دمای ژلاتینه شدن (بالای ۷۴ درجه سانتی‌گراد) را به خود اختصاص می‌دهند. در رتبه هفت، دانه‌ها کاملاً در محلول حل می‌شوند و کمترین دمای ژلاتینه شدن (بین ۶۹–۵۵ درجه سانتی‌گراد) را به خود اختصاص می‌دهند. رتبه‌های دو و شش به‌ترتیب پاسخ به‌نسبت مشابه با رتبه‌های یک و هفت را داشته و رتبه‌های سه، چهار و پنج نیز مربوط به دمای ژلاتینه شدن متوسط (بین ۷۴–۷۰ درجه سانتی‌گراد) می‌باشند (Habibi Kiahabadi, 2007).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پیش از تجزیه و تحلیل داده‌ها، نرمال بودن توزیع باقی‌مانده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو–ویلک مورد بررسی قرار گرفت. سپس، به‌منظور ارزیابی همگنی واریانس خطای آزمایشی بین داده‌های آزمایش در هر دو سال زراعی، آزمون بارتلت استفاده گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبه ضرایب همبستگی به‌روش پیرسون با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. همچنین، مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج آزمون بارتلت نشان داد کـه واریـانس خطـای آزمایشـی در سال‌های مختلف یکنواخت بوده و امکان انجام تجزیه مرکـب فـراهم است. بر این اساس، در زیر نتایج مربوط به دو بخش خزانـه و مزرعـه به تفکیک ارائه شده است.

براساس نتایج تجزیه واریانس صفات رشدی گیاهچه برنج تحـت تأثیر نظام‌های مختلف مدیریتی در خزانه مشخص شد که اثـر اصـلی نظام‌های کاشت بر طـول و قطـر طوقـه و ریشـه گیاهچـه در سـطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین، اثر متقابل سال و نظام‌های کشت در سایر صفات ارزیابی‌شده به‌غیر از عمق نفوذ ریشه غیرمعنی‌دار بود. علاوه‌بر این، اثر سال آزمایش نیز تأثیر معنی‌داری بر هیچ‌یک از این صفات مورد مطالعه گیاهچه نداشت (جدول ۴).

بیشترین طـول و قطـر طوقـه گیاهچـه بـرنج در شـرایط خزانـه به‌ترتیب برابر با ۲۴/۵ سانتی‌متر و ۴/۱ میلـی‌متـر در نظـام مـدیریتی فشرده‌سازی اکولوژیک مشاهده شد، درحالی‌که کمتـرین مقـادیر ایـن صفات به‌ترتیب با ۱۹/۸ سانتی‌متر و ۳/۵ میلی‌متر مربوط به نظام رایج بود (جدول ۵). بیشترین و کمترین قطر ریشه گیاهچه برنج بـه‌ترتیـب برای نظام‌های فشرده‌سازی اکولوژیـک و رایـج بـه‌ترتیب بـا ۰/۵۲ و ۰/۳۳ میلی‌متر به دست آمد (جدول ۵).

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات رشد گیاهچه برنج تحت تأثیر نظام‌های کشت در شرایط خزانه در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for growth traits of rice seedlings influenced by cultivation systems under nursery conditions in the 2021-2022 and 2022-2023 growing seasons

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares			
		طول گیاهچه Seedling length	قطر طوقه Stem diameter	عمق نفوذ ریشه Depth of root penetration	قطر ریشه Root diameter
سال Year (Y)	1	1.71^{ns}	0.144^{ns}	0.499^{ns}	0.0007^{ns}
خطای سال r (Y)	6	0.398	0.044	0.117	0.001
نظام‌های کشت Planting systems (P)	2	42.9**	0.754**	90.8**	0.083**
Y×P	2	1.09^{ns}	0.049^{ns}	1.10**	0.0006^{ns}
خطای کل Total error	12	0.173	0.038	0.087	0.001
ضریب تغییرات CV (%)		1.90	5.13	3.23	8.00

ns و**: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد.

^{ns} and **: indicate non-significance and significance at the 1% probability level, respectively.

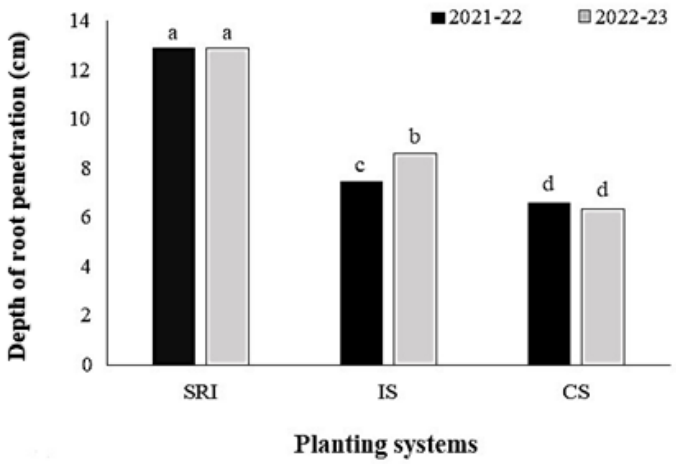
جدول ۵- مقایسه میانگین اثر نظام‌های کشت بر ویژگی‌های گیاهچه برنج در خزانه در دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱

Table 5- Mean comparisons for the effects of planting systems on the characteristics of rice seedlings in the nursery in the 2021-2022 and 2022-2023 growing seasons

نظام‌های کشت Planting systems	طول طوقه Stem length (cm)	قطر طوقه Stem diameter (mm)	قطر ریشه Root diameter (mm)
فشرده‌سازی اکولوژیک Ecological intensification	24.5^{a*}	4.1^{a}	0.52^{a}
حد واسط Intermediate	20.4^{b}	3.6^{b}	0.50^{a}
رایج Conventional	19.8^{c}	3.5^{b}	0.33^{b}

* حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

* Similar letters indicate no significant difference based on the Duncan test at the 5% probability level.



شکل ۱- مقایسه میانگین برهم‌کنش اثر سال و نظام‌های کشت بر عمق نفوذ ریشه گیاهچه برنج در شرایط خزانه در دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱

Fig. 1- Mean comparisons for interaction between effects of year and planting systems on the root penetration of rice seedlings under nursery conditions in the 2021-2022 and 2022-2023 growing seasons

SRI: نظام فشرده‌سازی اکولوژیک، IS: نظام حدواسط و CS: نظام رایج.

SRI: System of rice intensification, IS: Intermediate system and CS: Conventional system.

در هر دو سال زراعی، نظام فشرده‌سازی اکولوژیک با ۱۲/۹ سانتی‌متر بیشترین و نظام رایج با ۶/۵ سانتی‌متر کمترین عمق نفوذ ریشه را به خود اختصاص دادند (شکل ۱).

به‌طور کلی، براساس نتایج آزمایش در بخش خزانه، ویژگی‌های ریخت‌شناختی مانند طول و قطر طوقه و ریشه گیاهچه برنج در نظام فشرده‌سازی اکولوژیک بیشتر از نظام‌های رایج بود (جدول ۵ و شکل ۱). این موضوع نشان می‌دهد که نظام فشرده‌سازی اکولوژیک می‌تواند به رشد بهتر و توسعه بیشتر اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهچه برنج منجر شود، درحالی‌که مدیریت رایج موجب کاهش ویژگی‌های رشدی می‌شود که این امر می‌تواند رشد و به‌تبع آن عملکرد شلتوک را در مزرعه تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، این مقایسه نشان‌دهنده تأثیر مثبت نظام فشرده‌سازی اکولوژیگ بر رشد گیاهچه برنج است. در این راستا، برخی پژوهشگران گزارش کردند که نظام فشرده‌سازی اکولوژیک برنج با ایجاد تغییراتی در شیوه سنتی مدیریت خزانه شامل زمان انتقال گیاهچه و اجرای الگوی کاشت مربعی، ویژگی‌های رشدی را به‌دلیل کاهش رقابت کمتر درون بوته‌ای بهبود بخشید و منجر به افزایش فعالیت فتوسنتزی و بهبود رشد گیاهچه شد (Sridevi & Chellamuthu, 2012). این نتایج با مطالعات دیگر در خصوص افزایش رشد ساقه و بهبود شرایط رشدی در نظام فشرده تطابق دارد، به‌طوری که در این راستا گزارش شده است که در نظام‌های رایج، رقابت برای جذب مواد غذایی بین بوته‌ها افزایش یافته و باعث کاهش رشد ساقه می‌شود (Dastan et al., 2016; Amini et al., 2023). از طرفی، تاکور و همکاران(Thakur et al., 2011) گزارش کردند که در نظام فشرده، ویژگی‌های رشدی سیستم ریشه‌ای در مقایسه با نظام‌های رایج، به‌ویژه به‌دلیل ایجاد شرایط هوازی در خاک به‌طور چشمگیری برتری داشت.

در شرایط مزرعه، اثر نظام‌های مختلف کشت بر خصوصیات کمّی مورد مطالعه دانه شامل اجزای عملکرد، عملکرد و شاخص برداشت برنج در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). علاوه‌بر آن، اثر متقابل سال و نظام‌های کشت بر درصد سنبلچه‌های پوک، طول خوشه و تعداد پنجه بارور نیز معنی‌دار بود (جدول ۶).

درصد سنبلچه‌های پوک، طول خوشه و تعداد پنجه بارور

نتایج مقایسه میانگین نظام‌های مختلف مدیریتی نشان داد که بیشترین درصد سنبلچه‌های پوک مربوط به نظام کشت رایج با ۸/۱۹ درصد بود و کمترین مقدار در نظام فشرده‌سازی اکولوژیک با ۳/۵۳ درصد به دست آمد (جدول ۷).

جدول ٦- تجزیه واریانس صفات رشدی و عملکرد برنج تحت تأثیر نظام‌های کشت در شرایط مزرعه در دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲

Table 6- Analysis of variance of rice growth traits under the influence of cultivation systems in field conditions in the 2021-2022 and 2022-2023 growing seasons

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		تعداد سنبلچه‌های پوک Number of unfilled spiklets	طول خوشه Panicle length	تعداد پنجه بارور Number of fertile tillers	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
سال Year (Y)	1	9.29**	960**	0.375^{ns}	0.007^{ns}	0.001^{ns}	0.700^{ns}
خطای سال Error (Y)	6	0.061	0.017	0.153	0.004	0.001	0.506
نظام‌های کشت Planting systems (P)	2	46.5**	116**	884**	8.95**	0.384**	626**
Y×P	2	5.40**	0.736**	1.50**	0.0004^{ns}	0.0003^{ns}	1.82^{ns}
خطای کل Total error	12	0.124	0.036	0.111	0.001	0.0003	2.58
ضریب تغییرات CV (%)		5.92	0.717	1.86	2.14	3.15	4.18

ns و**: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد.

^{ns} and **: indicate non-significance and significance at the 1% probability level, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات رشدی برنج تحت تأثیر نظام‌های کشت در مزرعه

Table 7- Mean comparisons for growth traits of rice affected as planting systems in the field seasons

نظام‌های کشت Planting systems	سنبلچه‌های پوک Unfilled clusters (%)	طول خوشه Panicle length (cm)	تعداد پنجه بارور در بوته Number of fertilized tillers (No.plant^{-1})
فشرده‌سازی اکولوژیک Ecological intensification	3.53^{c*}	30.3^{a}	29.5^{a}
حدواسط Intermediate system	6.05^{b}	26.2^{b}	14.2^{b}
رایج Conventional system	8.19^{a}	22.8^{c}	9.36^{c}

* در هر ستون، حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

* Similar letters indicate no significant difference based on the Duncan test at the 5% probability level.

کاهش آبیاری با ایجاد شرایط غرقابی و سله در سطح خاک، انتقال گیاهچه‌های مسن‌تر و افزایش تراکم گیاهچه‌ها در هر کپه با تشدید رقابت درون گونه‌ای، در نظام کشت رایج موجب کاهش رشد بوته‌ها و از طرفی، افزایش تعداد سنبلچه‌های پوک شد. همچنین، به نظر می‌رسد که با افزایش طول خوشه (جدول ۷)، تعداد مخازن زایشی افزایش یافته که این امر موجب تشدید رقابت برای تقسیم مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش درصد سنبلچه‌های پوک شد. در این راستا، حسین‌پور و همکاران (Hosseinpoor et al., 2022) نیز دلیل کاهش تعداد سنبلچه‌های پوک در نظام فشرده تولید برنج را به کاهش تراکم بوته و در نتیجه کاهش رقابت برای جذب مواد غذایی مربوط دانستند. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که درصد سنبلچه‌های پوک در تراکم ۳۰۰ گرم در مترمربع بیشتر از تراکم ۲۰۰ گرم در مترمربع بود که احتمالاً دلیل این امر مربوط به تشدید رقابت درون گونه‌ای و درون گیاه می‌باشد.

نظام فشرده‌سازی اکولوژیک با طول خوشه ۳۰/۳ سانتی‌متر بیشترین مقدار را در مقایسه بین نظام‌ها به خود اختصاص داد که نسبت به سال اول تفاوت معنی‌داری نداشت و باعث افزایش ۳۲/۹ درصدی طول خوشه نسبت به نظام رایج شد (جدول ۷). مطابق

گزارش فتحی و همکاران (Fathi et al., 2017)، صفت طول خوشه برنج به‌شدت تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد، براساس نتایج این محققان، طول خوشه به‌دلیل دماهای پایین‌تر و شدت کمتر تابش خورشید کاهش یافت. بااین‌وجود، اگرچه طول خوشه عمدتاً تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی است، ولی عوامل محیطی و مدیریتی نیز می توانند به بهبود رشد و از طرفی افزایش آن کمک کنند. انتقال زودهنگام و انتخاب فاصله مناسب بین گیاهچه‌ها و آبیاری متناوب، رقابت را کاهش و از طرفی، احتمالاً وجود اکسیژن در خاک را برای رشد بهتر ریشه افزایش داده و به بهبود جذب مواد غذایی کمک نموده که در نهایت، افزایش رشد بوته موجب بهبود طول خوشه می‌شود. در همین زمینه، پژوهشگران بیان کرده‌اند که بهبود رشد ریشه و ساقه تحت مدیریت فشرده برنج به‌طور مستقیم منجر به تولید خوشه‌های بلندتر (با تعداد سنبلچه‌های بیشتر)، دانه‌بندی بهتر (با درصد بالاتر دانه‌های پر و بارور) و در نتیجه دانه‌هایی با وزن سنگین‌تر می‌شود (Thakur et al., 2011). ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2009) نیز گزارش دادند که عملکرد بالاتر دانه برنج در واریته‌های Liangyoupeijiu و Huaidao 9 با بهبود رشد اندام‌های زمینی و هوایی ارتباط دارد که این امر باعث افزایش اندازه مخازن زایشی (تعداد کل سنبلچه‌ها) شده است.

براساس نتایج این پژوهش، بیشترین و کمترین تعداد پنجه بارور به‌ترتیب در نظام‌های فشرده‌سازی اکولوژیک (۲۹/۵پنجه بارور در بوته) و رایج (۹/۳۶پنجه بارور در بوته) پنجه بارور در بوته مشاهده شد (جدول ۷). بر این اساس، در نظام رایج به‌دلیل آبیاری و تهویه کمتر، منابع رشد محدودتر بوده و همین مسئله باعث کاهش تعداد پنجه‌های بارور شد. علاوه‌بر این، در نظام فشرده‌سازی اکولوژیک، به‌علت انتخاب فاصله مناسب بین گیاهچه‌ها، رقابت بین بوته‌ها کاهش یافته و با توسعه و گستردگی بهتر سیستم ریشه‌ای، جذب بهتر مواد غذایی، افزایش سطح برگ و جذب نور و نیز بهبود رشد بوته‌ها مشاهده شد که به‌تبع آن افزایش تعداد پنجه‌های بارور را به دنبال داشت (جدول ۷).

یکی از اجزای تیمارهای مورد بررسی در نظام‌های تحت آزمایش، روش آبیاری بوده که به‌دلیل تفاوت در نحوه توزیع آب و میزان رطوبت در خاک، بر سله‌بندی، تهویه و میزان اکسیژن خاک، رشد ریشه‌ها و به‌تبع آن رشد و تعداد پنجه‌های گیاه را تحت تأثیر قرار داده است. در آبیاری ناکافی و یا غیریکنواخت که عموماً شیوه اجرایی در نظام مدیریت رایج می‌باشد، ریشه‌ها نمی‌توانند به‌طور مطلوب رشد کنند و این امر منجر به کاهش تعداد پنجه‌ها می‌شود. هرچند نتایج گزارش بومن و همکاران (Bouman et al., 2007) نشان می‌دهد که تعداد پنجه‌های بارور در روش آبیاری غرقاب بیشتر از کم‌آبیاری است، امّا براساس نتایج این مطالعه مشخص شد که در نظام فشرده‌سازی اکولوژیک، اعمال کم‌آبیاری در کنار سایر تیمارها احتمالاً با بهبود شرایط خاک موجب افزایش رشد ریشه‌ها و بوته‌ها شود. این تفاوت‌ها نشان‌دهنده اهمیت اثر مدیریت کشت در عملکرد گیاهان است. در نظام‌های پایدار مبتنی بر روش‌های مصرف کم آب، اعمال آبیاری غرقابی به‌دلیل ایجاد شرایط اشباع و بی‌هوازی در خاک و در نتیجه کاهش تهویه و نفوذ اکسیژن به ریشه‌ها منجر به کاهش تعداد پنجه‌ها و رشد گیاه می‌شود. بااین‌حال، اعمال کم‌آبیاری به همراه بهره‌گیری از روش‌هایی برای بهبود تهویه ریشه می‌تواند به افزایش حجم تولید ریشه و بهبود شرایط رشد، به‌ویژه در شرایط کم‌آبی کمک کرده و عملکرد بهتری را تولید نماید.

عملکرد زیستی، عملکرد دانه و شاخص برداشت

بیشترین عملکرد زیستی در نظام فشرده‌سازی اکولوژیک (۲۹۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد که نسبت به نظام مدیریت رایج با کمترین عملکرد زیستی (۹۴۰۰ کیلوگرم در هکتار)، افزایش حدود ۲۰۸ درصدی را نشان داد (جدول ۸). عملکرد زیستی برای نظام حد واسط (۱۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) نیز در مقایسه با نظام فشرده‌سازی اکولوژیک، برابر با ۵۹ درصد کمتر و در مقایسه با نظام رایج، برابر با ۲۸ درصد بیشتر محاسبه گردید (جدول ۸).

براساس نظر محققان چنین به نظر می‌رسد که عملکرد زیستی در تعیین عملکرد دانه اهمیت زیادی دارد و برای دستیابی به عملکرد مناسب باید عملکرد زیستی را افزایش داد. طبق نتایج قربانیان آستانه و همکاران (Ghorbanian Astana et al., 2013)، رشد سریع گیاه به‌ویژه در مراحل اولیه باعث افزایش عملکرد زیستی می‌شود. حسین‌پور و همکاران (Hosseinpoor et al., 2022) در آزمایشی نشان دادند که در روش کم‌آبیاری، عملکرد زیستی تنها چهار درصد کمتر از آبیاری مرسوم بود.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر نظام‌های کشت بر عملکرد زیستی، عملکرد دانه و شاخص برداشت برنج

Table 8- Mean comparisos for effects of planting systems on biological yield, paddy yield, and harvest index of rice

نظام‌های کشت Planting systems	عملکرد زیستی Biological yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه (kg.ha^{-1}) Grain yield	شاخص برداشت Harvest index (%)
فشرده‌سازی اکولوژیک Ecological intensification	29000^{a*}	8300^{a}	28.6^{b}
حد واسط Intermediate	12000^{b}	5500^{b}	45.8^{a}
رایج Conventional	9400^{c}	3900^{c}	41.5^{a}

* حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

* Similar letters indicate no significant difference based on the Duncan test at the 5% probability level.

این یافته‌ها حاکی از آن است که اجرای کم‌آبیاری می‌تواند تا حد زیادی عملکرد گیاهان را حفظ کرده و موجب کاهش مصرف آب گردد. در نظام فشرده‌سازی اکولوژیک که بر اجرای اصول پایداری و استفاده بهینه از منابع تأکید دارد، این امکان وجود دارد که ترکیب روش‌های مختلف مدیریت زراعی مانند کم‌آبیاری، وجین و استفاده از شیوه‌های خاک‌ورزی به افزایش کارآیی مصرف نهاده‌ها و بهبود عملکرد کمک کند. در این نظام‌ها، با افزایش تعداد دفعات وجین و بهبود تهویه، شرایط برای رشد و توسعه بهتر ریشه‌ها فراهم می‌شود و این امر به‌نوبه خود باعث افزایش حجم ریشه و بهبود جذب عناصر غذایی و آب توسط گیاه می‌شود. به همین دلیل، افزایش تعداد پنجه‌های بارور و بهبود شرایط آبیاری در این نظام‌ها منجر به افزایش تولید ماده خشک و زیست‌توده شده و در نهایت، افزایش عملکرد زیستی گیاهان را به دنبال دارد. این یافته‌ها نشان‌دهنده این است که با استفاده از راهبردهای مؤثر در مدیریت آب و خاک، می‌توان در شرایط کم‌آبی به نتایج مشابه یا حتی بهتر از آبیاری مرسوم نیز دست یافت.

در مقایسه بین نظام‌های مدیریتی، بالاترین عملکرد دانه متعلق به نظام فشرده‌سازی اکولوژیک (۸۳۰۰ کیلوگرم درهکتار) بود که باعث افزایش ۵۰ و ۱۱۳ درصدی عملکرد دانه به‌ترتیب نسبت به نظام‌های حدواسط و رایج شد (جدول ۸). کمترین میزان عملکرد دانه نیز با ۳۹۰۰ کیلوگرم در هکتار به نظام رایج اختصاص داشت. در نظام فشرده‌سازی اکولوژیک، استفاده از آبیاری متناوب و انتخاب الگوی کاشت مربعی به کاهش رقابت گیاهی و بهبود هوادهی خاک کمک می‌کند که این امر موجب رشد بهینه ریشه و افزایش تعداد پنجه‌های بارور شده و در نتیجه، بهبود عملکرد دانه را به دنبال دارد. همچنین، آبیاری متناوب با کاهش مصرف آب باعث افزایش عملکرد دانه نیز می‌شود. نتایج برخی از تحقیقات نشان داده است که اجرای نظام فشرده‌سازی اکولوژیک باعث بهبود خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و افزایش عملکرد دانه می‌شود. در این راستا، منته و همکاران (Menete et al., 2008) گزارش دادند که بهبود خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی بوته‌های برنج در نظام فشرده‌سازی اکولوژیک افزایش عملکرد دانه را به دنبال دارد. علاوه‌بر مزایای زیست‌محیطی ذکرشده، نتایج مطالعه‌ای روی مدل‌سازی مقایسه نظام‌های مختلف کشت نشان داد که نظام اکولوژیک همچنین باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای همچون CH_4 و N_2O می‌شود (Sun et al., 2021). علاوه‌بر این، نظام‌های اکولوژیک برنج به‌دلیل کاهش مصرف آب و بهبود شرایط محیطی مانند کیفیت خاک و آب، می‌توانند به‌عنوان تکنولوژی‌های سبز مؤثر در کشاورزی پایدار نیز معرفی شوند (Yang et al., 2017).

نظام کشت حد واسط بیشترین (۴۶ درصد) و نظام فشرده‌سازی اکولوژیک کمترین (۲۹ درصد) شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند (جدول ۸). ازآن‌جاکه شاخص برداشت به‌عنوان پارامتری برای سنجش کارآیی تولید محصول اقتصادی در گیاهان مطرح بوده که نسبت عملکرد دانه به عملکرد زیستی را نشان می‌دهد، این موضوع نشان‌دهنده تفاوت در کارآیی تبدیل ماده خشک به عملکرد اقتصادی در این دو نظام می‌باشد. کاهش شاخص برداشت در نظام فشرده‌سازی اکولوژیک احتمالاً به‌دلیل تمرکز بیشتر بر رشدونمو ریشه، افزایش تعداد پنجه‌های بارور و بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و در نهایت به افزایش ماده خشک کلی گیاه منجر می‌شود. بااین¬حال، این عوامل ممکن است به‌طور مستقیم به افزایش عملکرد دانه منجر نشوند. بنابراین، درحالی‌که عملکرد زیستی بالا است، ممکن است بخش کمتری از آن به دانه تبدیل شود که در

نتیجه شاخص برداشت کمتری را تولید نماید (Yang & Zhang, 2010). بر این اساس، پیشنهاد شده است که به‌منظور بهبود عملکرد اقتصادی و همزمان دستیابی به عملکرد زیستی و اقتصادی بالا، نسبت این دو عملکرد و یا شاخص برداشت نیز مورد توجه قرار داده شود.

خصوصیات کیفی

اثر نظام‌های کشت بر خصوصیات کیفی برنج شامل درصد آمیلوز و ژلاتینه شدن به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۹)، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین درصد آمیلوز به‌ترتیب در نظام‌های فشرده‌سازی اکولوژیک (۲۲/۷ درصد) و رایج (۲۱/۵ درصد) مشاهده شد (جدول ۹). همچنین، بیشترین و کمترین نمره ژلاتینه شدن به‌ترتیب برای نظام‌های فشرده‌سازی اکولوژیک (۳/۷) و رایج (۳/۰) ثبت گردید (جدول ۹).

جدول ۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات کیفی برنج تحت تأثیر نظام‌های کشت در شرایط مزرعه‌ای

Table 9- Analysis of variance (mean of squares) for rice quality traits influenced by cultivation systems under field conditions

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	
		درصد آمیلوز Amylose percentage	نمره ژلاتینه شدن Gelatinization
تکرار Replication	3	0.020^{ns}	0.01^{ns}
نظام‌های کشت Planting systems	2	1.02*	0.35**
خطا Error	6	0.09	0.02
ضریب تغییرات CV (%)	-	1.36	4.34
نظام‌های کشت Planting systems		**درصد آمیلوز Amylose (%)**	**نمره ژلاتینه شدن Gelatinization**
فشرده‌سازی اکولوژیک Ecological intensification	-	22.67^{a*}	3.65^{a}
حد واسط Intermediate	-	22.05^{ab}	3.13^{b}
رایج Conventional	-	21.5^{b}	3.00^{b}

ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد هستند.

* میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشابه در هر ستون دارند، براساس آزمون دانکن در سطح معنی‌داری $p \leq 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.

ns, *, **: representing non-significance and significance at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* Means with at least one similar letter in each column are not significantly different based on the Duncan test at $p \leq 0.05$.

برنج‌های با درصد آمیلوز پایین به‌دلیل ساختار مولکولی کمتر متراکم، چسبندگی بیشتری دارند (Sahoo et al., 2024). در مقابل، برنج‌های دارای درصد آمیلوز بالاتر به‌دلیل ساختار بلوری آمیلوز، دانه‌های مجزا، غیرچسبنده و با کیفیت بالاتری تولید می‌کنند. افزایش درصد آمیلوز و نمره بالاتر ژلاتینه شدن در نظام فشرده‌سازی اکولوژیک ممکن است ناشی از تغییرات بهبود مدیریتی این نظام به‌ویژه تفاوت رژیم آبیاری باشد که باعث بروز تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در دانه گیاه برنج شده و این تغییرات نسبت آمیلوز و آمیلوپکتین و همچنین فرآیند ژلاتینه شدن را تحت تأثیر قرار داده است. بر این اساس، به نظر می‌رسد که در نظام فشرده‌سازی اکولوژیک، تراکم کشت و مدیریت منابع به‌گونه‌ای است که موجب افزایش سنتز آمیلوز و بهبود ویژگی‌های ژلاتینه شدن برنج می‌شود. لازم به ذکر است که این خصوصیات از جمله عواملی هستند که در پذیرش رقم برنج توسط مصرف‌کننده نیز نقش مهمی دارند. قابل ذکر است که افزایش درصد آمیلوز در نظام فشرده‌سازی اکولوژیک به‌طور کلی به بهبود کیفیت پخت منجر نمی‌شود، زیرا محتوای آمیلوز بالا

ممکن است باعث افزایش خشکی و سفتی بافت برنج پخته و افت کیفیت آن شود. در عین حال، نمره ژلاتینه شدن مناسب در این نظام نشان می‌دهد که برنج حاصل همچنان بافت مطلوبی پس از پخت دارد. بنابراین، این نظام با افزایش نسبی آمیلوز و بهبود ویژگی‌های ژلاتینه شدن، ترکیبی از ویژگی‌های مطلوب و چالش‌برانگیز را برای کیفیت پخت ایجاد می‌کند. طبق نظر پژوهشگران، میزان آمیلوز به‌عنوان نوعی شاخصی مهم در کیفیت پخت و خوراک برنج مطرح می‌باشد (Habibi Kiahabadi, 2007). نتایج مطالعه الله‌قلی‌پور (Allahgholipour, 2018) روی رابطه بین میزان آمیلوز دانه، دمای ژلاتینه شدن و خصوصیات ویسکوزیتی ۴۰ ژنوتیپ برنج نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه براساس میزان آمیلوز دانه به دو گروه تقسیم شدند: گروه اول دارای محتوای آمیلوز بالا و گروه دیگر دارای محتوای آمیلوز متوسط می‌باشند. نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس خصوصیات ویسکوزیته و دمای ژلاتینه شدن مشابه گروه‌بندی آن‌ها براساس میزان آمیلوز دانه بود. میزان چسبندگی نهایی و دمای ژلاتینه شدن نیز به‌عنوان مؤثرترین خصوصیات برای تفکیک گروه‌های آمیلوز بالا و متوسط شناسایی شدند. همچنین پیش‌بینی میزان آمیلوز متوسط تا بالا براساس چسبندگی نهایی و دمای ژلاتینه شدن با ضریب تبیین ۹۷ درصد امکان‌پذیر بود.

ضرایب همبستگی بین صفات کمّی و کیفی مورد مطالعه

نتایج همبستگی بین صفات کمّی و کیفی مورد مطالعه برنج نشان داد که درصد سنبلچه‌های پوک با طول خوشه، تعداد پنجه بارور، عملکرد زیستی و عملکرد دانه و با درصد آمیلوز و ژلاتینه شدن همبستگی منفی و معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) و با شاخص برداشت همبستگی مثبت و معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) داشت (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- ضرایب همبستگی بین صفات کمّی و کیفی برنج تحت تأثیر نظام‌های مختلف

Table 10- Correlation coefficients between quantitative traits and quality of rice affected different planting systems

صفات Traits	سنبلچه‌های پوک Unfertilized spiklets	طول خوشه Panicle length	تعداد پنجه‌های بارور Number of productive tillers	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Paddy yield	شاخص برداشت Harvest index	آمیلوز Amylose percentage	ژلاتینه شدن Gelatinization
سنبلچه‌های پوک Unfertilized spiklets	1							
طول خوشه Panicle length	-0.85**	1						
تعداد پنجه‌های بارور Number of productive tillers	-0.88**	0.97**	1					
عملکرد زیستی Biological yield	-0.84**	0.94**	0.99**	1				
عملکرد دانه Paddy yield	-0.88**	0.98**	0.99**	0.97**	1			
شاخص برداشت Harvest index	0.67**	-0.77**	-0.87**	-0.92**	-0.80**	1		
آمیلوز Amylose percentage	-0.92**	0.99**	0.94**	0.93**	0.99**	-0.74*	1	
ژلاتینه شدن Gelatinization	-0.91**	0.94**	0.99**	0.99**	0.98**	-0.88**	0.95**	1

** و *: به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال یک و پنج درصد

**and *: are significance at the 1% and 5% probability levels, respectively.

عملکرد زیستی با شاخص برداشت همبستگی منفی و معنی‌دار (r=-0.92**) و با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری (r=0.97**) در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۱۰). از سوی دیگر، طول خوشه با عملکرد زیستی و عملکرد دانه همبستگی مثبت در سطح احتمال یک درصد (به‌ترتیب با r=0.94** و r=0.98**) داشت، درحالی‌که در سطح احتمال یک درصد با شاخص برداشت همبستگی منفی (r=-0.77**) نشان داد (جدول ۱۰). بر این اساس، افزایش طول خوشه باعث افزایش تعداد دانه در هر خوشه شده و این امر تأثیر مستقیمی بر افزایش عملکرد زیستی دارد. همچنین، تعداد پنجه بارور همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد زیستی و عملکرد دانه و همبستگی منفی و معنی‌دار با شاخص برداشت داشت (جدول ۱۰). عملکرد دانه با درصد آمیلوز (r=0.99**) و ژلاتینه شدن (r=0.98**) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند (جدول ۱۰).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که نظام فشرده‌سازی اکولوژیک برنج با بهبود رشد گیاهچه‌ها و افزایش کارآیی استفاده از منابع، عملکرد و کیفیت برنج را بهبود می‌بخشد. بهره‌گیری از این نظام با افزایش طول و قطر ساقه و ریشه، تعداد پنجه‌های بارور و طول خوشه، عملکرد کمّی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. بهبود کیفیت دانه برنج نیز با افزایش درصد آمیلوز و نمره ژلاتینه شدن مشاهده شد، هرچند این تغییرات بسته به نیاز مصرف‌کننده ممکن است مطلوب یا نامطلوب تلقی شوند.

نظام فشرده‌سازی اکولوژیک با تراکم کمتر بوته‌ها و استفاده از نشاهای جوان، فضای بیشتری را برای نمو ریشه و جذب بهتر عناصر غذایی فراهم کرد و به‌ویژه در شرایط کمبود آب، کارآیی استفاده از منابع را افزایش داد. در مقابل، نظام رایج با تراکم بیشتر و کاشت نشاهای مسن‌تر، علی‌رغم کاهش کیفیت دانه برنج منجر به تولید گیاهانی با ساقه‌های کوتاه‌تر و عملکرد کمتر شد. براساس یافته‌های این پژوهش، نظام فشرده‌سازی اکولوژیک برای تولید برنج به‌ویژه در مناطق با محدودیت منابع آبی توصیه شده و برای تحقیقات آتی نیز پیشنهاد می‌شود که تأثیر نظام‌های مختلف کاشت بر ویژگی‌های کیفی برنج تحت شرایط آب‌وهوایی متنوع نیز ارزیابی شود.

References

1. Agricultural Statistics. (2023). Ministry of Agriculture. Economic Planning Deputy. Center for Statistics, Information Technology and Communication. The First Volume. Crops. 95 pp. (In Persian).
2. Allahgholipour, M. (2018). Prediction of high and intermediate amylose groups based on the starch physicochemical properties in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *20*(2), 139-150. (In Persian with English abstract)
3. Amini, R., Zafarani-Moattar, P., Shakiba, M.R., & Hasanfard, A. (2023). Inoculating moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) with mycorrhizal fungi and bacteria may mitigate the adverse effects of water stress. *Journal of Scientific Reports*, *13*(1), 16176. https://doi.org/10.1038/s41598-023-43539-3
4. Arouna, A., Dzomeku, I.K., Shaibu, A.G., & Nurudeen, A.R. (2023). Water management for sustainable irrigation in rice (*Oryza sativa* L.) production: A review. *Journal of Agronomy*, *13*, 1522. https://doi.org/10.3390/agronomy13061522
5. Arsil, P., Sahirman, S., Ardiansyah, H., & Hidayat, H. (2019). The reasons for farmers not to adopt System of Rice Intensification (SRI) as a sustainable agricultural practice: An explorative study. IOP Conf. *Series: Journal of Earth and Environmental Science*, *250*, 012063. https://doi.org/10.1088/1755-1315/250/1/012063
6. Bouman, B.A.M., Lampayan, R.M., & Tuong, T.P. (2007). Water management in irrigated rice: Coping with water scarcity. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 54 p.
7. Chowdhury, M.R., Kumar, V., Sattar, A., & Brahmachari, K. (2014). Studies on the water use efficiency and nutrient uptake by rice under system of intensification. *Journal of the Bioscan*, *9*(1), 85–88.
8. Dastan, S., Noormohamadi, G., Madani, H., Ebrahimi, M., & Yasari, E. (2016). Investigation of growth and phenology of main crop and ratoon of rice cultivars in different cropping systems. *Journal of Plant Production*

Technology, *16*(1), 81-101. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22084/ppt.2016.1769

9. Fathi, N., Pirdashti, H., Nasiri, M., & Bakhshandeh, E. (2017). Effect of weather temperature and solar radiation on grain yield and yield components of rice under different local climates in Mazandaran province. *Journal of Crops Improvement*, *19*(1), 163-176. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2017.60406
10. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). Available online: http://www.fao.org/3/i1688e/i1688e00.1
11. Ghorbanian Astana, Y., Amiri, E., Razavipour, Y., & Rezaei, M. (2013). Investigating the effect of new cultivation management system (SRI) on grain yield and water efficiency in rice fields. *Journal of Agroecology*, *4*, 53-61. (In Persian with English abstract).
12. Habibi Kiahabadi, F., Hosseini, M., Yekta, M., Adeli, F., Jarian, M., & Talakoobi, M. (2018). *Investigation of physical and chemical properties of rice grains and factors affecting cooking quality in different rice varieties* [Research project]. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). Scientific National ID: R-1068478.
13. Hosseinpoor, S., Moghadam, H., & Pirdashti, H. (2022). Evaluation of yield and yield components of rice cv. 'Tarom Hashemi' in system of rice intensification (SRI) and conventional systems. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(3), 329-340. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/saps.2021.36888.2376
14. Juliano, B.O. (1971). Simplified assay for milled-rice amylose. *Journal of Cereal Science Today*, *16*, 334-360.
15. Juliano, B.O. (1982). International co-operative testing of the alkali digestibility values for milled rice. *Journal of Starch*, *34*, 21-26. https://doi.org/10.1002/star.19820340106
16. Mahdavi Damghani, A., Kambouzia, J., Aghamir, F., & Mahmoudi, H. (2019). Sustainable intensification of agricultural systems in Iran for adaptation to climate change: Opportunities and challenges. *Journal of Strategic Research Agricultural Sciences and Natural Resources*, *4*(2), 157-168. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.31433/1605-220X-2018-21-3(1)-118-123
17. Mansour Ghanaei-Pashaki, K., Mohsen Abadi, G., Biglouei, M.H., Farhangi, M.B., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2022). Effect of rice-duck co-cultivation on the trend of changes in growth indices, photosynthesis and irrigation and precipitation water productivity in different cultivation systems. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *32*(1), 149-147. https://doi.org/10.22034/saps.2021.44833.2646
18. Menete, M.Z.L., Van Es, H.M., Brito, R.M.L., DeGloria, S.D., & Famba, S. (2008). Evaluation of system of rice intensification (SRI) component practices and their synergies on salt-affected soils. *Journal of Field Crops Research*, *109*(1-3), 34-44. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.06.003
19. Modarresi, M. (2023). Rice breeding in Iran: Current status and future perspective. *Journal of Plant Breeding and Biotechnology*, *11*(2), 97-104. https://doi.org/10.9787/PBB.2023.11.2.97
20. Paul, S.K.K., Akter, M., Sarkar, S.K., & Sarkar, M.A.R. (2018). Effect of nursery seeding density, age of seedling and number of seedlings hill-1 on the performance of short duration transplanted of rice (cv. Parija). *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, *16*(2), 215-220. https://doi.org/10.3329/jbau.v16i2.37963
21. Prasad, R., Shivay, Y.S., & Kumar, D. (2017). Current status, challenges, and opportunities in rice production. *Rice Production Worldwide*, 1-32. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5_1
22. Rodríguez Coca, L.I., García González, M.T., Gil Unday, Z., Jiménez Hernández, J., Rodríguez Jáuregui, M.M., & Fernández Cancio, Y. (2023). Effects of sodium salinity on rice (*Oryza sativa* L.) cultivation: A review. *Journal of Sustainability*, *15*(3), 1804. https://doi.org/10.3390/su15031804
23. Sahoo, U., Biswal, M., Nayak, L., Kumar, R., Tiwari, R.K., Lal, M.K., Bagchi, T.B., Sah, R.P., Singh, N.R., Sharma, S., Nyak, A.K., & Kumar, A. (2025). Rice with lower amylose content could have reduced starch digestibility due to crystallized resistant starch synthesized by linearized amylopectin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *105*(5), 3064-3072 https://doi.org/10.1002/jsfa.14074
24. Shokhmegar, Y., & Mousavi Toghani, S.Y. (2019). Evaluation of irrigation regimes and seedling age effects on rice (*Oryza sativa* L.) yield and yield components in conventional and ecological systems. *Journal of Iranian Irrigation and Drainage*, *13*(2), 389-399. (In Persian with English abstract).
25. Sridevi, V., & Chellamuthu, V. (2012). Influence of system of rice intensification on growth, yield and nutrient uptake of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Madras Agricultural*, *99*(4-6), 305-307.
26. Sun, G., Sun, M., Du, L., Zhang, Z., Wang, Z., Zhang, G., & Wang, H. (2021). Ecological rice-cropping systems mitigate global warming: A meta-analysis. *Journal of Science of the Total Environment, 789*, 147900.

https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147900
27. Thakur, A.K., Mohanty, R.K., Patil, D.U., & Kumar, A. (2014). Impact of water management on yield and water productivity with system of rice intensification (SRI) and conventional transplanting system in rice. *Journal of Paddy and Water Environment, 12*, 413–424. https://doi.org/10.1007/s10333-013-0397-8
28. Thakur, A.K., Rath, S., Patil, D.U., & Kumar, A. (2011). Effects on rice plant morphology and physiology of water and associated management practices of the system of rice intensification and their implications for crop performance. *Journal of Paddy and Water Environment, 9*, 13-24. https://doi.org/10.1007/s10333-010-0236-0
29. Ungureanu, N., Vlăduț, V., & Voicu, G. (2020). Water scarcity and wastewater reuse in crop irrigation. *Journal of Sustainability, 12*, 9055. https://doi.org/10.3390/su12219055
30. Uphoff, N., Kassam, A., & Thakur, A. (2013). Challenges of increasing water saving and water productivity in the rice sector: Introduction to the system of rice intensification (SRI) and this issue. *Journal of Taiwan Water Conservancy, 61*(4), 1–13.
31. Wakasa, Y. (2024). The use of rice seed as a bioreactor. In: Applications of Plant Molecular Farming (pp. 547-567). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-0176-6_20
32. Yang, J., & Zhang, J. (2010). Crop management techniques to enhance harvest index in rice. *Journal of Experimental Botany, 61*(12), 3177-3189. https://doi.org/10.1093/jxb/erq112
33. Yang, J., Zhou, Q., & Zhang, J. (2017). Moderate wetting and drying increases rice yield and reduces water use, grain arsenic level, and methane emission. *The Crop Journal, 5*, 151-158. https://doi.org/10.1016/J.CJ.2016.06.002
34. Zhang, H., Xue, Y., Wang, Z., Yang, J., & Zhang, J. (2009). Morphological and physiological traits of roots and their relationships with shoot growth in ‘‘Super’’ rice. *Field Crops Research, 113*, 31–40. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.04.004

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 3, 2025, p. 421-438

Study of Morphological Traits, Yield, and Yield Components of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars under Rainfed Conditions and Different Sowing Dates

Esmail Nabizadeh[1*], Saman Yezdan Seta[1], Rahim Sarkhosh[1] and Khadijeh Ahmadi[2]

1- Institute of Agriculture, Water, Food, and Nutraceuticals, Mah.C., Islamic Azad University, Mahabad, Iran.
2- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran
(*- Corresponding author's Email: esmaeil.nabizadeh@iau.ac.ir)

Received: 12-06-2025
Revised: 26-07-2025
Accepted: 11-08-2025
Available Online: 26-11-2025

How to cite this article:
Nabizadeh, I., Yezdan Seta, S., Sarkhosh, R., & Ahmadi, K. (2025). Study of morphological traits, yield, and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under rainfed conditions and different sowing dates. *Journal of Agroecology*, *17*(3), 421-438. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/ 10.22067/agry.2025.93878.1242

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.), a cool-season legume, plays a vital role in sustainable agriculture and human nutrition due to its high protein content and nitrogen-fixing capacity. It contributes to crop rotation systems by suppressing weeds, reducing soil-borne diseases, and enhancing soil fertility. In regions with heavy-textured soils and high water-holding capacity, chickpea is typically sown in late autumn or early winter when soil moisture is adequate. Cultivated in over 56 countries, chickpea is often grown in semi-arid to arid environments, where abiotic stresses such as drought and cold limit its productivity. Its reproductive phase is especially sensitive to environmental stressors, making sowing date a crucial determinant of yield performance. Early sowing may extend the growth period and improve biomass accumulation, whereas late sowing can expose the crop to terminal drought. This study aimed to identify the optimal genotypes and planting dates for maximizing growth and yield under the cold and dry conditions of northwestern Iran.

Materials and Methods

The experiment was conducted during the 2019–2020 cropping season in Khusheh Darreh village, Saqqez County, Kurdistan Province, Iran (36°22′N, 46°34′E; 1502 m a.s.l.). A randomized complete block design (RCBD) with three replications was employed, evaluating five chickpea genotypes—including ‘Adel’ and ‘Mansour’—across five sowing dates: November 6, February 11, March 10, April 29, and May 22. Soil samples were collected at two depths (0–30 cm and 30–60 cm) for analysis of physical and chemical properties, and average climatic data were recorded. Morphological traits such as plant height, number of secondary branches, and number of pods, along with physiological indices including green emergence percentage, biological yield, seed yield, and harvest index, were measured.

Results and Discussion

Authors retain the copyright.This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

https://doi.org/ 10.22067/agry.2025.93878.1242

Sowing date and genotype significantly affected all measured traits. The highest green emergence (82%) was recorded for the April 29 sowing date, whereas sowing in early December resulted in lower emergence due to cold stress. Late May sowing led to poor establishment caused by water stress. The February 11 sowing date produced the highest grain yield (652 kg/ha) and harvest index (48%), attributed to an optimal combination of growing season duration and favourable environmental conditions. Genotypic differences were evident, with 'Adel' and 'Mansour' performing best under early sowing conditions, reflecting their superior tolerance to cold and extended vegetative growth. Late sowing restricted plant development and yield due to a shortened growth period and terminal drought. Early sowing (in the absence of frost damage) allowed for prolonged growth, improved utilization of light and moisture, and more effective resource allocation, enhancing both vegetative and reproductive traits. Pod number and seed number were identified as key determinants of yield, consistent with previous findings. Environmental stress during the flowering and pod development stages resulted in an increased number of empty pods and reduced seed weight, highlighting the importance of aligning crop phenology with climatic conditions. The study also confirmed that Desi-type chickpeas exhibit greater resilience to abiotic stresses compared to Kabuli types. Tailoring sowing dates to genotype-specific growth patterns and climatic forecasts is essential for sustainable chickpea production in cold and water-limited regions.

Conclusion

This research emphasizes the critical role of sowing date in optimizing chickpea performance under cold, dry agro-climatic conditions. Among the treatments, sowing on February 11 combined with genotypes such as 'Adel' and 'Mansour' resulted in superior growth and yield. The findings highlight the importance of location-specific agronomic planning that integrates genotype selection with optimal sowing time. These results offer practical recommendations for enhancing chickpea productivity in highland areas prone to cold and drought stress. Future research should investigate the physiological mechanisms behind genotype responses and explore integrated crop management strategies for further yield stabilization.

Acknowledgements

The authors thank the Agricultural Research Station of Kurdistan Province for providing the research site and technical support. Special appreciation is extended to the local farmers of Saqqez for their cooperation and logistical assistance during the fieldwork.

Keywords: Agronomic Traits, Chickpea, Emergence Percentage, Harvest Index, Plant height

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱٤۰٤، ص ٤۳۸-٤۲۱

مطالعه صفات ریخت‌شناسی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت اثر تاریخ کشت در شرایط دیم

اسمعیل نبی‌زاده[۱*]، سامان یزدان‌ستا[۱]، رحیم سرخوش[۱] و خدیجه احمدی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰

چکیده

نخود (*Cicer arietinum* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین حبوبات در نظام‌های زراعی مناطق نیمه‌خشک، از حساسیت بالایی نسبت به تاریخ کاشت و شرایط محیطی برخوردار است، ازاین‌رو شناخت واکنش ارقام مختلف نخود به تاریخ‌های متفاوت کاشت، نقشی کلیدی در افزایش پایداری عملکرد و بهره‌وری زراعی دارد. این مطالعه به‌منظور بررسی تأثیر تاریخ کاشت بر عملکرد و صفات زراعی ارقام مختلف نخود در شرایط آب‌وهوایی سرد و نیمه‌خشک شهرستان سقز در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. کرت اصلی پنج تاریخ کاشت (۶ آذر، ۱۱ اسفند، ۵ فروردین، ۲۹ فروردین و ۲۲ اردیبهشت‌ماه) و کرت فرعی ۱۰ رقم نخود منصور، آنا، عادل، پیروز، گوکسو، اسکان، آراس، آبگوشتی و رقم آجیلی (شاهد) بودند. نتایج نشان داد که تاریخ کاشت و نوع رقم به‌طور معنی‌داری بر سبز شدن مزرعه، صفات رشدی (ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و غلاف) و عملکرد دانه تأثیر گذاشتند. بیشترین درصد سبز شدن (۸۲ درصد) در تاریخ ۲۹ فروردین مشاهده شد، درحالی‌که کاشت‌های پاییزه (۶ آذر) به‌خاطر تنش سرما و کاشت‌های دیرهنگام (۲۲ اردیبهشت‌ماه) به‌سبب کم‌آبی، کاهش سبز شدن را به همراه داشتند. تاریخ‌های زودهنگام‌تر (در صورت عدم تنش سرمایی) به‌دلیل طولانی‌تر بودن دوره رشد و استفاده بهینه از منابع، عملکرد بالاتری داشتند. بیشترین عملکرد دانه (۶۵۹ کیلوگرم در هکتار) و شاخص برداشت (۴۸ درصد) در کاشت ۱۱ اسفند به دست آمد. تفاوت‌های ژنتیکی ارقام نیز در تحمل تنش‌های محیطی مشهود بود، به‌طوری‌که ارقام منصور و عادل در کاشت‌های زودهنگام عملکرد بهتری نشان دادند. این یافته‌ها اهمیت هماهنگی زمان کاشت با شرایط آب‌وهوایی و انتخاب ارقام مقاوم به تنش را در بهینه‌سازی تولید نخود در مناطق سرد و نیمه‌خشک برجسته کرد. در تاریخ‌های مختلف کاشت، رقم وارداتی گوکسو و رقم محلی آبگوشتی بیشترین عملکرد از لحاظ تولید دانه را داشته‌اند. ترکیب دو عامل تاریخ ۱۱ اسفند و رقم گوکسو، بیشترین بازدهی را از لحاظ عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه، و رشد مناسب نشان دادند و برای مناطقی با اقلیم مشابه، قابل توصیه هستند. مدیریت صحیح تاریخ کاشت و استفاده از ارقام سازگار به‌عنوان راهکاری کارآمد برای افزایش بهره‌وری در کشت نخود معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، درصد سبزشدن، شاخص برداشت، صفات زراعی

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) یک از حبوبات فصل خنک است که در طیف وسیعی از محیط‌ها عمدتاً در مناطق نیمه‌خشک جهان رشد می‌کند، جایی که اغلب با شرایط آب و هوایی آسیب‌زا روبرو می‌شود. مزایای متعدد سیستم تغذیه‌ای و کشاورزی نخود به‌خوبی مستند شده است. نخود منبعی از پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه ضروری در رژیم غذایی انسان است (Rasheed et al., 2021) و انرژی و پروتئین‌های ارزشمندی را در غذای حیوانات فراهم می‌کند (Grasso et al., 2022). در نظام‌های کشاورزی، این محصول برای مهار

۱- دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران
۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: esmail.nabizadeh@iau.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2025.93878.1242

علف‌های هرز و جلوگیری از شیوع بیماری‌های ناشی از خاک و کلش مفید است. علاوه‌بر این، توانایی آن در تثبیت نیتروژن اتمسفر، حاصلخیزی خاک را بهبود می‌بخشد و مزایایی را برای محصولات بعدی غلات فراهم می‌کند. نخود در حدود ۱۷/۸ میلیون هکتار در ۵۶ کشور کشت می‌شود (FAO, 2020). در نواحی دارای خاک‌های با بافت سنگین و ظرفیت نگهداری آب بالا، نخود در اواخر پاییز و یا اوایل زمستان، زمانی‌که خاک از آب اشباع است، کاشته می‌شود (Sadras & Dreccer, 2015). به‌دلیل بارندگی غالب تابستان، این مناطق درون فصل بارندگی کمی دارند و در نتیجه نخود در معرض شرایط آب‌وهوایی نامطلوب مانند کم‌آبی پایانی و دمای بسیار بالا در اواخر فصل قرار می‌گیرد که پتانسیل عملکرد را محدود می‌کند (Sadras & Dreccer, 2015).

مزایای نظام‌های کشاورزی و سودآوری نخود، تولید آن را تشویق کرده است تا به مناطق کشاورزی جدید گسترش یابد. در این مناطق که تحت سلطه بارندگی‌های سردتر و زمستانه هستند (Sadras & Dreccer, 2015)، تجمع زیست‌توده و عملکرد دانه توسط دماهای سرد و رویدادهای یخبندان در اوایل فصل رشد و همچنین خشکسالی پایانی و تنش گرمایی در اواخر فصل محدود می‌شود. دمای بهینه در طول فاز حساس تولیدمثلی برای تولید نخود بین ۱۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد است (Gaur et al., 2019) و دماهای بالاتر یا پایین‌تر از این محدوده باعث ریزش گل/غلاف و کاهش عملکرد می‌شود (Devasirvatham et al., 2015). در این محدوده دمایی، تمایل به تجمع کافی زیست‌توده و تبدیل کارآمد آن به عملکرد دانه وجود دارد. تعداد گل‌های مولد و غلاف‌های پرشده به‌شدت تحت تأثیر دماهای بالا قرار می‌گیرد و بنابراین می‌توان از این صفات به‌عنوان معیار انتخاب برای تحمل گرما استفاده کرد (Gaur et al., 2019). همچنین، دمای متوسط روزانه حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد برای موفقیت‌آمیز بودن غلاف‌بندی و حفظ دانه ضروری است (Berger et al., 2004). در دماهای بسیار پایین، یخبندان باعث از بین رفتن گل و غلاف و در نتیجه افزایش تعداد غلاف‌های خالی می‌شود. در بیشتر مناطق کشت، نخود عمدتاً با استفاده از رطوبت ذخیره‌شده در خاک و بدون آبیاری تکمیلی رشد می‌کند و در نتیجه تمایل به خشکسالی پایانی دارد. در سطح جهانی، خشکسالی حدود ۵۰ درصد از کاهش عملکرد نخود را شامل می‌شود (Gaur et al., 2019)، درحالی‌که وزن دانه، تعداد دانه و تعداد غلاف همگی در عملکرد نهایی دانه نقش دارند، تعداد دانه عمدتاً محرک اصلی عملکرد در محصولات زراعی است (Sadras & Slafer, 2012). بااین‌حال، وزن دانه دارای پیامدهای کیفی تجاری مهمی است، به‌ویژه اگر تنش‌های غیرزیستی باعث چروک شدن یا کاهش اندازه دانه شود (Wood et al., 2019).

شناسایی ارقام گیاهی مناسب برای محیط‌های تولید جدید، کلید گسترش محصول، سازگاری و افزایش بهره‌وری کلی است (Pushpavalli et al., 2020). درک سازوکارهای حفظ بهره‌وری و/یا افزایش عملکرد تحت تنش‌های متعدد به تعیین مناسب بودن رقم در محیط‌های مختلف کمک می‌کند. گونه‌های نخود دسی نسبت به واریته‌های کابلی، تحمل بیشتری به تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی و گرما دارند. محصولات زراعی طیفی از راهکارهای اجتناب یا تحمل را برای بقاء و عملکرد رضایت‌بخش تحت محدودیت‌های غیرزیستی اتخاذ می‌کنند (Mafoua et al., 2020). تاریخ کاشت و رقم زراعی از عوامل مؤثر بر رشد و عملکرد نخود هستند، به‌طوری‌که طی مطالعه در کشور نپال، ارقام جدید در تاریخ‌های کاشت مناسب، به‌ویژه اوایل فصل، عملکرد بالاتری از خود نشان می‌دهند که نشان‌دهنده برتری ارقام جدید نسبت به ارقام بومی در بهره‌برداری بهینه از تاریخ‌های مناسب کاشت است (Pokhrel et al., 2025). در نخود، مرحله زایشی نسبت به مرحله رویشی حساسیت بیشتری به تنش‌های محیطی دارد. بااین‌حال، به‌دلیل عادت رشد نامشخص، این مراحل می‌توانند هم‌زمان رخ دهند و گیاه ممکن است در معرض تنش‌های مشابه در هر دو مرحله باشد. تجمع زیست‌توده و تبدیل موفق آن به عملکرد دانه را می‌توان از طریق شیوه‌های مدیریتی نظیر بهینه‌سازی تاریخ کاشت برای برخی واریته‌ها به حداکثر رساند (Lack & Sadras, 2014). کشت در طیف وسیعی از محیط‌های مختلف، روشی عملی برای ارزیابی سازگاری و بهره‌وری محصول در مناطق جدید و انطباق عملکرد ژنتیکی واریته‌ها با شرایط اقلیمی بلندمدت است.

هدف از این مطالعه، شناسایی پتانسیل ارقام نخود در واکنش به پنج تاریخ کاشت متفاوت، با استفاده اندازه‌گیری صفات ریخت‌شناسی مرتبط رشد، عملکرد و اجزای عملکرد بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه مرکز خدمات کشاورزی روستای خوشه دره دهستان گل‌تپه جهانگیرخان بخش

زیویه واقع ۶۵ کیلومتری شهرستان سقز با مختصات طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۴ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه و ارتفاع ۱۵۰۲ متر از سطح دریا به اجرا درآمد. برای تعیین مشخصات خاک مزرعه، نمونه‌برداری از سطح ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری انجام گرفت (جدول ۱). منطقه مورد کشت دارای میانگین دمای سالیانه ۱۱/۵۴ سانتی‌گراد است (جدول ۲).

مشخصات طرح آزمایش

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت اصلی شامل پنج تاریخ کاشت ۶ آذرماه ۱۳۹۸، ۱۱ اسفندماه ۱۳۹۸، ۵ فروردین ماه ۱۳۹۹، ۲۹ فروردین ماه ۱۳۹۹ و ۲۲ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۹ بودند، تاریخ کشت‌ها دقیقاً طبق عرف زمان کاشت کشاورزان منطقه در کشت انتظاری و معمول و ارقام نخود شامل آجیلی (شاهد)، منصور، گوکسو، اسکان، آراس، آنا، آبگوشتی، عادل و پیروز به‌عنوان کرت‌های فرعی قرار گرفتند. این آزمایش به‌صورت کشت دیم در ۱۳۵ کرت اجرا شد، ابعاد کرت‌ها به‌طول پنج متر و عرض دو متر بود. فاصله بذور از هم به‌اندازه ۱۷ سانتی‌متر روی یک ردیف و فاصله ردیف‌ها از هم ۴۰ سانتی‌متر بود و هر کرت دارای پنج ردیف به‌طول پنج متر بود. فاصله بین دو کرت با یک خط نکاشت به‌عنوان حاشیه مشخص گردید، کاشت بذور به‌صورت خطی و با دست و در عمق هفت سانتی‌متر انجام شد، تعداد بوته در یک مترمربع، براساس قوه نامیه هر رقم، محاسبه و ۳۰ بوته در نظر گرفته شد.

عملیات آماده‌سازی زمین

عملیات خاک‌ورزی یک‌بار شخم عمیق با گاوآهن برگردان‌دار و بار دوم با استفاده از خاک‌ورزی مرکب جهت تسطیح در زمین مورد نظر انجام گرفت. در این طرح از بذور مادری موجود در مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان سقز استفاده گردید و تمام بذور قبل از کاشت با سم مانکوزب ضدعفونی شدند، در ابتدا و همراه کاشت، کود اوره برمبنای ۲۵ کیلوگرم و کود فسفات آمونیم برمبنای ۱۰۰ کیلوگرم و کود سولفات پتاسیم برمبنای ۵۰ کیلوگرم در هکتار به زمین اضافه شد. برای مبارزه با علف‌های هرز، در مرحله دوشاخه‌ای شدن و قبل از به گل رفتن گیاه نخود به‌وسیله کارگر مزرعه وجین و برای مبارزه با کرم غلاف‌خوار از سم آفت‌کش کلرپیریفوس در یک نوبت و قبل از گل‌دهی استفاده و آفت کرم غلاف‌خوار نخود به‌خوبی مهار گردید.

اندازه‌گیری صفات

برای برآورد درصد بوته‌های سبزشده در مزرعه، به‌محض مشاهده ظهور اولین گیاهچه‌ها، در مزرعه شمارش گیاهچه‌های سبزشده به‌طور روزانه در هر واحد آزمایشی آغاز و تا زمانی‌که گیاهچه‌های سبز شده ثابت شدند، شمارش ادامه داشت. رصد سبز شدن نهایی در مزرعه به‌صورت تعداد بذور سبزشده تقسیم بر تعداد بذور کشت‌شده ضربدر ۱۰۰ محاسبه گردید (ISTA, 2006). برای تاریخ‌های کشت ۶ آذرماه ۱۳۹۸، ۱۱ اسفندماه ۱۳۹۸، ۵ فروردین ماه ۱۳۹۹، ۲۹ فروردین ماه ۱۳۹۹ و ۲۲ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۹، به‌ترتیب طول دوره‌های ۲۰۳، ۱۲۶، ۱۲۱، ۹۸ و ۸۵ روز بود. زمان‌های برداشت جهت اندازه‌گیری صفات ریخت‌شناسی، عملکرد و اجزای عملکرد برای تاریخ کشت ۶ اسفندماه ۱۳۹۸ برداشت در ۲۵ خردادماه ۱۳۹۹، تاریخ کشت ۱۱ اسفندماه ۱۳۹۸ برداشت در ۱۵ تیرماه ۱۳۹۹، تاریخ کشت ۵ فروردین ماه ۱۳۹۹ برداشت در ۲۸ تیرماه ۱۳۹۹، تاریخ کشت ۲۹ فروردین ماه ۱۳۹۹ برداشت در ۳ مرداد ۱۳۹۹ و برای تاریخ کشت ۲۲ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۹ برداشت در ۱۰ مردادماه ۱۳۹۹ انجام شد.

به‌منظور اندازه‌گیری صفات ریخت‌شناسی، از سه ردیف وسط هر کرت، از هر ردیف ۱۰ بوته و در مجموع ۳۰ بوته به‌صورت تصادفی مشخص و علامت‌گذاری شد. ارتفاع بوته‌ها از سطح خاک تا انتهای آخرین برگ با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری و میانگین داده‌ها به‌عنوان ارتفاع بوته کرت موردنظر ثبت شد.

جدول ۱- تجزیه فیزیکی-شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physico-chemical analysis of the experimental site soil

بافت Texture	درصد اشباع Percent saturation	EC	pH	کربن آلی (%) Organic C	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)
لومی‌رسی سیلتی (متوسط) Silty clay loam (medium)	45	1.34	7.81	0.97	0.091	9/84	345

جدول ۲- آمار هواشناسی مزرعه تحقیقاتی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸

Table 2- Meteorological statistics of the research farm in the 2019-2020

سال و ماه Year and month	میانگین دمای ماهانه Average monthly temperature (°C)		دمای مطلق ماهانه Monthly absolute temperature (°C)		میانگین رطوبت ماهانه Average monthly humidity (%)		مقدار بارندگی ماهانه Monthly precipitation (mm)	میانگین میزان تبخیر از طشتک کلاس A Average evaporation from class A pan (mm)	تبخیر ماهانه Monthly evaporation (mm)
	حداقل Min	حداکثر Max	حداقل Min	حداکثر Max	حداقل Min	حداکثر Max			
مهر ۹۸ October 2019	7.1	19.3	4.4	27.4	18	63	10.8	4.4	131.6
آبان ۹۸ November 2019	1.5	17.2	1.5	19	57	79	22.9	1.3	42.8
آذر ۹۸ December 2019	-4.8	5.2	-7.8	11.8	58	90	67.2	0	0
دی ۹۸ January 2020	-5.9	4.3	-12.7	9.5	51	87	91.2	0	0
بهمن ۹۸ February 2020	-11.9	3.2	-18.9	9.9	56	89	69.4	0	0
اسفند ۹۸ March 2020	-6.3	4.7	-11.8	13.5	53	81	95.2	0	0
فروردین ۹۹ April 2020	-2.3	15.3	-4	19.5	41	77	70.3	2.5	49.7
اردیبهشت ۹۹ May 2020	5.9	24.2	4.2	26.3	35	73	47.2	5.4	154.2
خرداد ۹۹ June 2020	9.1	29.6	9	31.4	28	63	3.4	7.9	226.4
تیر ۹۹ July 2020	12.9	25.6	10.9	38	22	58	0	8.3	275.6
مرداد ۹۹ August 2020	15.4	26.7	13.5	39.5	19	46	0	9.5	348.1
شهریور ۹۹ September 2020	9.6	26.2	11.3	36.2	21	61	0	7.3	218.5

همچنین، ارتفاع اولین و آخرین غلاف هر بوته از سطح خاک اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان ارتفاع اولین و آخرین غلاف کرت یادداشت گردید. تعداد شاخه‌های اصلی و فرعی هر بوته شمارش و میانگین آن‌ها به‌ترتیب به‌عنوان تعداد شاخه اصلی و فرعی ثبت شد. در مرحله بعد، تعداد کل غلاف، تعداد غلاف خالی، غلاف‌های تک‌دانه‌ای و دودانه‌ای برای هر بوته شمارش و میانگین

آن‌ها برای هر کرت ثبت گردید. در زمان رسیدگی کامل، با استفاده از کوادرات یک مترمربع در یک کرت، بوته‌ها از محل طوقه قطع و وزن شدند تا عملکرد بیولوژیک محاسبه گردد، سپس دانه‌های این بوته‌ها جدا و وزن شدند و با استفاده از معادله [(وزن دانه ÷ عملکرد بیولوژیک) × ۱۰۰] شاخص برداشت به دست آمد. برای تعیین عملکرد نهایی، تمام بوته‌های هر کرت به‌صورت دستی برداشت و دانه‌های حاصل از بوته‌های نمونه با سایر دانه‌ها ترکیب‌شده، با چوب مخصوص کوبیده و توسط باد کاه از دانه جدا شد. وزن دانه‌ها اندازه‌گیری شده و عملکرد ۱۰ مترمربع محاسبه و سپس به‌صورت عملکرد در هکتار تبدیل و ثبت شد. همچنین از دانه‌های برداشت‌شده، ۱۰۰ دانه به‌صورت تصادفی جدا و وزن گردید تا وزن ۱۰۰ دانه به دست آید.

تجزیه آماری:

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SPSS 24.0 انجام شد. میانگین‌های به‌دست‌آمده با استفاده از آزمون چند دامنه¬ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه شد.

نتایج و بحث

درصد سبز شدن مزرعه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین رقم‌ها، تاریخ‌های کاشت و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر درصد سبز شدن در واحد سطح اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد (جدول۳). در بررسی داده‌های ارقام در تاریخ کشت‌های مختلف مشاهده گردید که ارقام آنا، آراس، عادل و اسکان در تاریخ کشت ۶ آذرماه ۹۸ به‌شدت تحت تأثیر تنش سرما قرار گرفته و عدم جوانه‌زنی منجر به کاهش شدید عملکرد دانه در این ارقام گردید. در تاریخ کشت‌های ۱۱ اسفندماه ۹۸ و ۵ و ۲۹ فروردین‌ماه ۹۹، بیشتر ارقام از لحاظ درصد سبز شدن در واحد سطح اختلاف معنی‌داری نداشتند، امّا در تاریخ کشت ۲۲ اردیبهشت‌ماه ۹۹ به‌علت تنش رطوبتی زیاد، درصد سبز شدن ارقام تفاوت معنی‌داری داشت (شکل ۱). این نتایج نشان‌دهنده این است که افزایش درصد سبز شدن در تاریخ کاشت ۲۹ فروردین‌ماه به‌دلیل عدم بروز شرایط سرمازدگی جوانه در کشت‌های بهاره و همچنین وجود شرایط مناسب جوانه‌زنی از لحاظ رطوبت و دما در زمان کاشت و اوایل رشد این تاریخ کشت است. دما عامل مهمی برای تعیین تاریخ کاشت بوده و اغلب کشاورزان منطقه برای فرار از تنش سرما، کشت نخود را به زمان دیرتر موکول کرده و این امر باعث مواجه‌شدن اواخر دوره رشد گیاه نخود با گرمای آخر فصل و کاهش شدید عملکرد شده است که در این میان، مدیریت مزرعه و تعیین زمان کشت مناسب نقش مهمی را ایفا می‌کنند. در تاریخ کشت‌های مختلف، عملکرد و جوانه‌زنی ارقام تحت تأثیر دمای هوا و رطوبت خاک قرار گرفت، به‌طوری‌که در شرایط دماهای پایین و تنش رطوبتی، جوانه‌زنی و عملکرد دانه گاهی به‌شدت کاهش پیدا می‌کند. به‌ویژه در ارقام حساس، تحت تنش سرما و رطوبت، آسیب به غشاء سلولی و کاهش در میزان جذب آب منجر به افزایش نشت الکترولیت‌ها و کاهش فعالیت آنزیم‌ها می‌شود. در واقع، استقرار گیاهچه و قدرت زنده ماندن بذر در سنین مختلف رشد تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و زمانی بسیار متأثر است (Szczerba et al., 2021; Potopová et al., 2023). این نتایج نشان‌دهنده اهمیت زمان کشت و انتخاب رقم مناسب در شرایط محیطی مختلف است که می‌تواند به بهبود عملکرد و جوانه‌زنی منجر شود. در نتیجه، تاریخ کاشت و نوع رقم بر جوانه‌زنی و عملکرد دانه نخود تأثیر معنی‌داری دارند و انتخاب زمان مناسب برای کشت بسیار حیاتی به نظر می‌رسد.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین رقم‌ها، تاریخ‌های کاشت و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر ارتفاع آخرین غلاف در بوته دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین ارقام در تاریخ کشت‌های مختلف از لحاظ ارتفاع بوته نشان داد که رقم گوکسو در تاریخ کشت ۶ آذرماه ۹۸ با ارتفاع ۴۲ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد که با رقم آجیلی (شاهد) با ارتفاع بوته ۳۵/۶۶ سانتی‌متر تفاوت معنی‌داری نداشت و رقم پیروز در تاریخ کشت ۲۲ اردیبهشت‌ماه ۹۹ با ارتفاع ۱۵/۶۶ سانتی‌متر کمترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد که با رقم آجیلی (شاهد) اختلاف معنی‌دار داشت (شکل ۲).

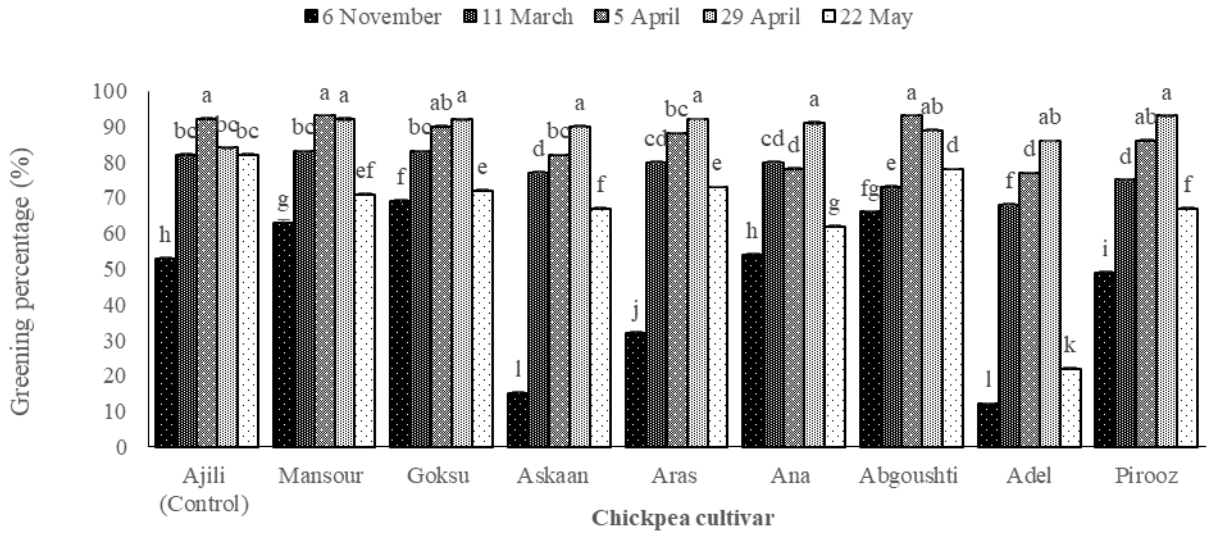
جدول ۳- تجزیه واریانس صفات ریخت‌شناسی ارقام نخود در تاریخ کاشت‌های مختلف

Table 3- Analysis of variance (ANOVA) for morphological traits of chickpea genotypes under different sowing dates

منابع تغییر S.O.V	درجه آزدی df	درصد سبز شدن Field emergence	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی Secondary branches	تعداد غلاف در بوته Pods/plant	وزن هزار دانه 100-seed weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	2.00^{ns}	19.94^{ns}	1.78^{ns}	53.62^{ns}	0.01^{ns}	4108.89^{ns}	110011.67^{ns}	28.21^{ns}
تاریخ کاشت Sowing date	4	8584.77**	568.97**	42.97*	4129.28**	147.59**	865551.69**	681826.67**	1109.43**
خطای اصلی Main error	8	356.86	8.51	6.31	83.55	0.01	7946.20	11130.42	272.94
رقم Varieties	8	1200.9**	240.31**	31.86**	684.58**	1313.86**	61552.80**	40924.17*	223.35**
تاریخ کشت در رقم Sowing date × genotype	32	327.21**	19.10**	ns 2.97	ns 88.18	14.20**	14700.66**	ns 18863.23	121.23*
خطای فرعی Sub error	80	56.91	6.98	5.92	72.13	0.01	3086.607	17817.92	64.07
ضریب تغییرات CV (%)	–	10.31	9.47	31.96	24.31	0.24	16.49	25.69	22.28

ns، *، **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۰/۵ و ۰/۱

**ns, *, and **: indicate non-significant, significant at the 0.05 level, and significant at the 0.01 level, respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین ارقام نخود تحت اثر تاریخ‌های مختلف کشت بر درصد سبز شدن نخود

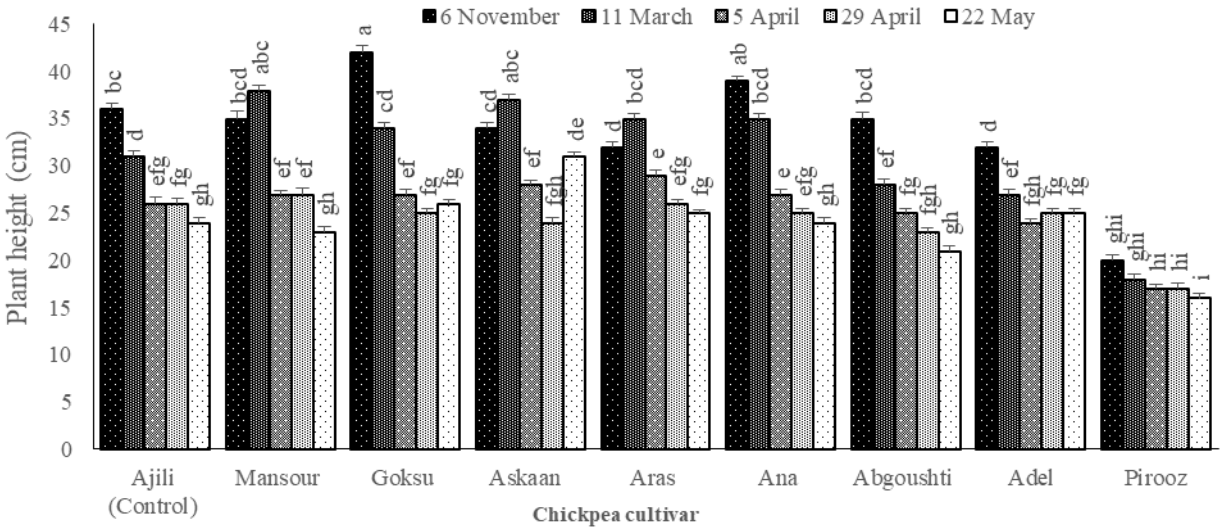
Fig. 1- Comparison of average chickpea cultivars under the effect of different sowing dates on chickpea germination percentage

میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, followed by similar letters, are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

افزایش ارتفاع بوته یکی از صفات مطلوب جهت برداشت مکانیزه نخود و استفاده بیشتر از رطوبت و نور در طول دوره رشد رویشی است و در مرحله زایشی نیز با ایجاد منبع بزرگ جهت تشکیل غلاف و دانه منجر به افزایش عملکرد می‌گردد. این نتایج بیانگر این موضوع است

که افزایش ارتفاع در تاریخ کاشت ۶ آذرماه ۹۸، به‌دلیل سرمازدگی مزرعه و از بین رفتن بوته‌های ضعیف بوده که در این شرایط تراکم مزرعه کاهش یافته و بوته‌های باقی‌مانده علاوه‌بر طولانی بودن دوره رشد رویشی، بیشترین استفاده را از رطوبت و مواد غذایی موجود در خاک و بارندگی‌های اوایل بهار برده و ارتفاع بوته افزایش یافته است. پایین بودن مقدار ارتفاع بوته در تاریخ کاشت پنجم ۲۲ اردیبهشت‌ماه ۹۹ به‌دلیل پایین بودن میزان رطوبت خاک در زمان کاشت، عدم بارندگی‌های مؤثر بعد از زمان کاشت و طول دوره رویشی و زایشی کم و هم‌زمانی آن با گرمای آخر فصل بهار است که این شرایط باعث کندی رشد رویشی گردیده و باعث کاهش ارتفاع بوته می‌گردد. تأثیر شرایط محیطی تا حدود زیادی به ژنتیک رقم وابسته بوده به این معنی که رقم پیروز با توجه به اینکه جزء ارقام تیپ دسی (رنگی) است، اغلب دارای ارتفاع بوته کمتری نسبت به ارقام تیپ کابلی (سفید) است. طبق یافته‌های آقایی فرد و همکاران (Aghaeifard et al., 2025)، تاریخ کشت تأخیری باعث کاهش ارتفاع بوته در گیاه سویا (*Glycine max*) شد که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی داشت. ارتفاع بوته در نخود می‌تواند به‌عنوان یکی از شاخص‌های مؤثر در رشد رویشی و قدرت استقرار گیاه در مزرعه تلقی شود. بررسی‌ها حاکی از آن است که ارقام دارای ارتفاع بیشتر، به‌ویژه در شرایط پاییزه، از ظرفیت بالاتری در توسعه اندام‌های فتوسنتزی برخوردار بوده‌اند که این امر به افزایش سطح برگ و در نهایت افزایش تولید ماده خشک منجر شده است. در این میان، رقم آزاد ارتفاع بیشتری نسبت به سایر ارقام نشان داده و این ویژگی زمینه‌ای برای عملکرد بالاتر دانه فراهم کرده است. افزایش ارتفاع بوته، اگر با ساختار مقاوم و پایداری فیزیکی همراه باشد، می‌تواند عاملی مؤثر در افزایش عملکرد نهایی دانه در نخود تلقی شود (Sandeep et al., 2023).



شکل ۲- مقایسه میانگین ارتفاع نخود تحت اثر تاریخ‌های مختلف کشت و رقم

Fig. 2- Comparison of average pea height under the influence of different sowing dates and cultivars

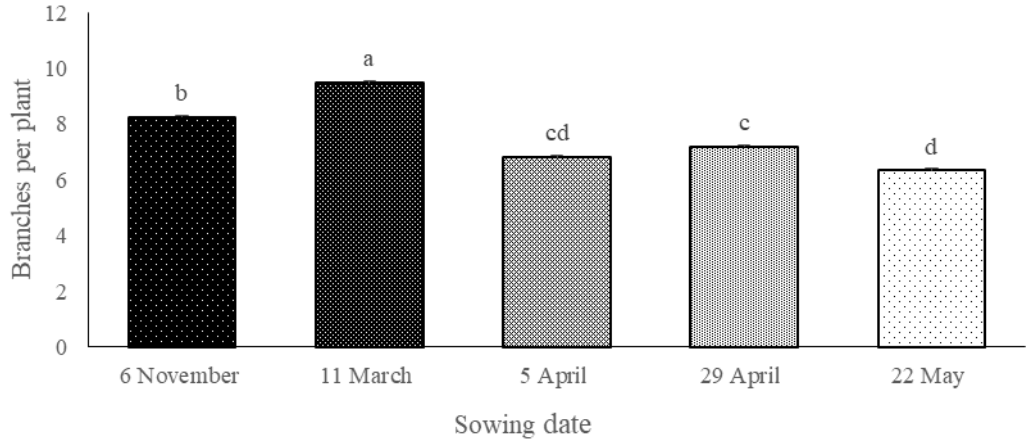
میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, followed by similar letters, are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

تعداد شاخه فرعی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تاریخ‌های کاشت و بین رقم‌ها بر تعداد شاخه فرعی اختلاف معنی‌دار شد (جدول۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در بین تاریخ‌های مختلف کاشت، تاریخ کاشت ۱۱اسفندماه ۹۸ با میانگین تعداد شاخه فرعی ۹/۴۸ عدد دارای بیشترین تعداد شاخه فرعی و تاریخ ۲۲ اردیبهشت‌ماه ۹۹ با تعداد شاخه فرعی ۶/۳۳ عدد کمترین تعداد شاخه فرعی را داشته است، در این مقایسه مشخص گردید که تاریخ کشت ۱۱ اسفندماه ۹۸ با تاریخ کشت ۶ آذرماه ۹۸ تفاوت معنی‌داری نداشت، ولی با تاریخ کشت‌های ۵ فروردین‌ماه و ۲۹ فروردین‌ماه و ۲۲

اردیبهشت‌ماه ۹۹ تفاوت معنی‌داری داشت (شکل ۳). مقایسه میانگین ارقام نخود نشان داد که بیشترین تعداد شاخه فرعی مربوط به رقم پیروز با میانگین ۹/۵ عدد در بوته بوده، هرچند ارقام عادل، آجیلی (شاهد) و آبگوشتی نیز اختلاف معنی‌داری با آن نداشت و کم‌ترین تعداد شاخه فرعی در بوته با میانگین ۵/۵ عدد در بوته متعلق به رقم آسکان بود که با رقم آجیلی (شاهد) با تعداد ۹/۱ عدد در بوته اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۴). با دقت در نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردید که در مجموع، ارقام محلی دارای شاخه فرعی بیش‌تری نسبت به ارقام اصلاح‌شده و وارداتی بوده و این امر به تلاش جهت معرفی ارقامی با تعداد شاخه فرعی کم‌تر و ارتفاع بوته بیش‌تر برمی‌گردد تا شرایط برداشت مکانیزه فراهم گردد. تعداد شاخه‌های زیاد و حالت جارویی در بوته نخود باعث کاهش شدید غلاف در بوته و در نهایت کاهش عملکرد می‌گردد و یک صفت نامطلوب در تولید دانه به حساب می‌آید.

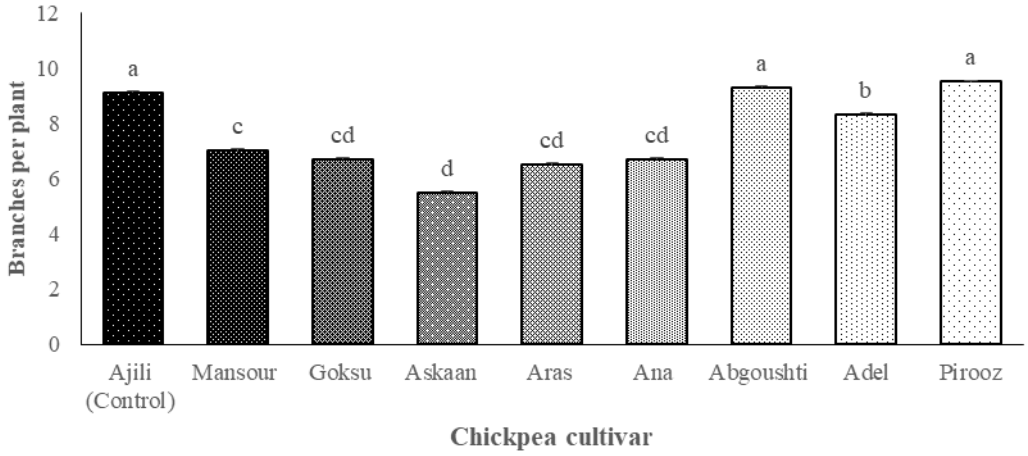


شکل ۳- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی نخود در تاریخ کشت‌های مختلف

Fig. 3- Comparison of the average number of chickpea side branches in different sowing dates

میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, followed by similar letters, are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.



شکل ٤- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی در ارقام مختلف نخود

Fig. 4- Comparison of the average number of secondary branches in different chickpea cultivars

میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, followed by similar letters, are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

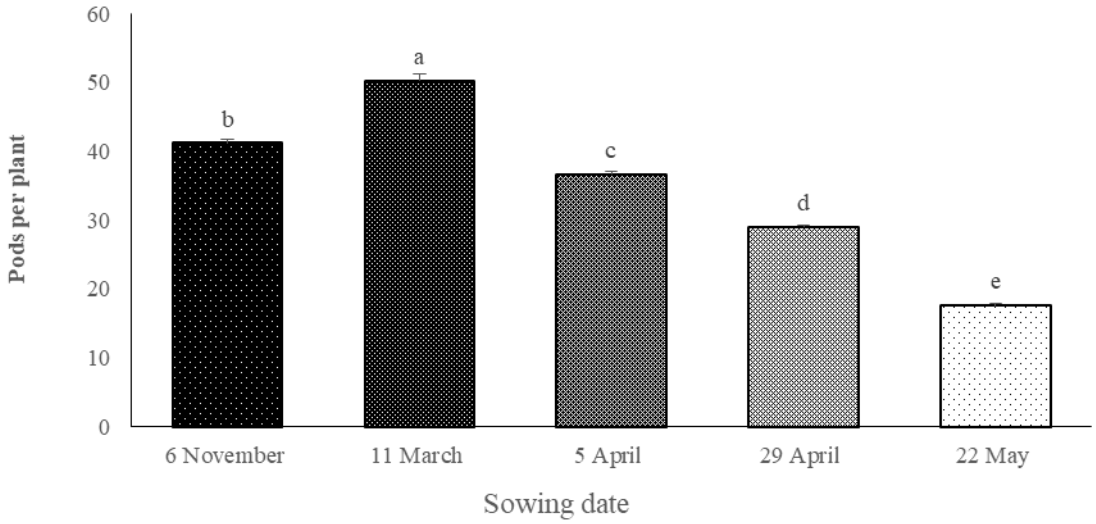
تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تاریخ کاشت و رقم‌های مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر تعداد کل غلاف در هر بوته داشتند، درحالی‌که اثر متقابل بین این دو عامل بر این صفت معنی‌دار نبود

(جدول ۳). در میان تاریخ‌های کاشت، تاریخ ۱۱ اسفندماه ۱۳۹۸ با میانگین ۵۰/۲۲ غلاف در هر بوته بیشترین تعداد غلاف را داشت، درحالی‌که تاریخ ۲۲ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۹ با میانگین ۱۷/۵۹ غلاف کمترین تعداد را نشان داد. تاریخ کاشت ۱۱ اسفندماه به‌طور معنی‌داری با سایر تاریخ‌های کاشت تفاوت داشت، امّا تاریخ‌های ۵ و ۲۹ فروردین‌ماه ۱۳۹۹ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. تمامی تاریخ‌های کاشت به‌جز ۲۲ اردیبهشت‌ماه با این تاریخ تفاوت معنی‌داری داشتند (شکل ۵). از نظر رقم‌های مورد بررسی، رقم پیروز با میانگین ۵۰/۲۰ غلاف در هر بوته بیشترین تعداد غلاف را داشت و با رقم آجیلی (شاهد) با میانگین ۳۵/۶۶ غلاف تفاوت معنی‌داری نشان داد. کمترین تعداد غلاف با میانگین ۵۳/۲۶ مربوط به رقم آسکان بود که با رقم آجیلی نیز تفاوت معنی‌داری داشت. رقم پیروز با تمامی ارقام مورد آزمایش تفاوت معنی‌داری داشت. اگرچه افزایش تعداد غلاف معمولاً منجر به افزایش عملکرد می‌شود، امّا در مورد رقم پیروز به‌دلیل وزن کم ۱۰۰ دانه، این افزایش عملکرد مشاهده نشد (شکل ۶). مطالعات مشابه در مناطق مختلف نیز نشان داده‌اند که تاریخ کاشت و رقم‌های مختلف تأثیر قابل‌توجهی بر تعداد غلاف در هر بوته دارند. به‌عنوان‌مثال، در مطالعه‌ای در لهستان، تاریخ کاشت زودهنگام منجر به افزایش تعداد غلاف در هر بوته شد، درحالی‌که تأثیر متقابل بین تاریخ کاشت و رقم معنی‌دار نبود (Serafin-Andrzejewska et al., 2024). در مطالعه‌ای دیگر در لهستان مشخص شد که تاریخ کاشت تأثیر قابل توجهی بر تعداد غلاف در هر بوته دارد، به‌طوری‌که تاریخ کاشت زودهنگام منجر به افزایش تعداد غلاف شد (Fordoński et al., 2023). این یافته‌ها نشان می‌دهد که انتخاب تاریخ کاشت مناسب و رقم‌های بهینه می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر تعداد غلاف در هر بوته و در نتیجه عملکرد نهایی داشته باشد. یافته‌های پژوهشی نشان داده است که رقم نخود نقش مهمی در تعیین تعداد غلاف در بوته دارد. در این میان، رقم آزاد بیشترین تعداد غلاف را نسبت به سایر ارقام تولید کرده است. این ویژگی احتمالاً به توان بالای این رقم در شاخه‌دهی و تشکیل غلاف در دوره رشد به‌ویژه در شرایط مساعد کشت پاییزه مربوط می‌شود. افزایش تعداد غلاف یکی از عوامل کلیدی در تقویت توان زایشی گیاه محسوب می‌شود و رقم آزاد در این زمینه عملکرد قابل توجهی از خود نشان داده است (Naseri et al., 2012).

وزن ۱۰۰ دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین ارقام، تاریخ کاشت و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر روی وزن ۱۰۰ دانه اختلاف آماری معنی‌دار است (جدول ۳).

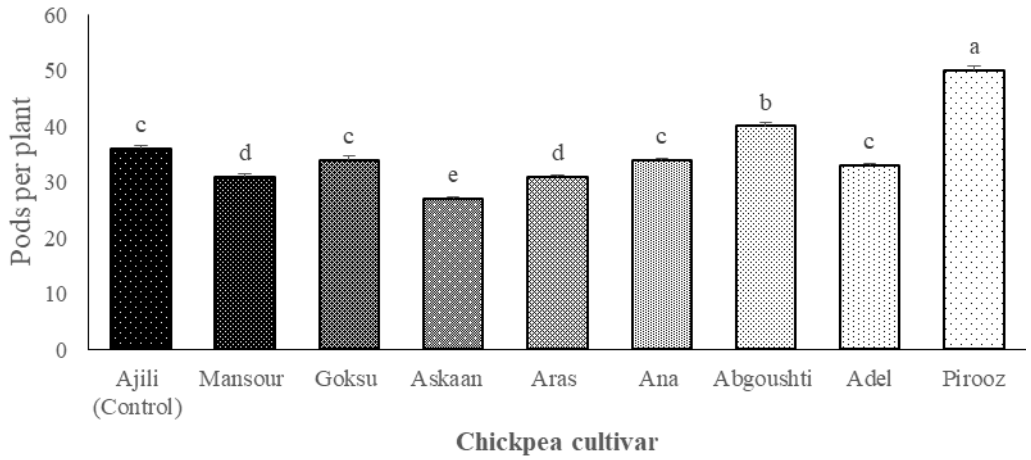


شکل ۵- مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته نخود در تاریخ کشت‌های مختلف

Fig. 5- Comparison of the average number of pods per pea plant in different sowing dates

میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, followed by similar letters are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.



شکل ٦- مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته ارقام مختلف نخود

Fig. 6- Comparison of the average number of pods per plant across different chickpea varieties

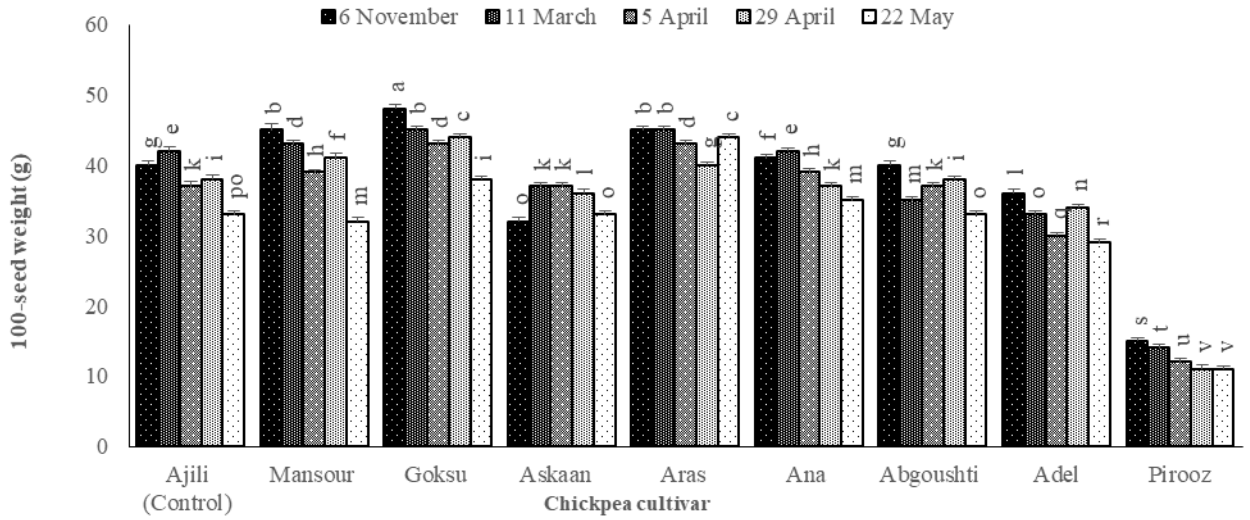
میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, followed by similar letters, are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

مقایسه تیمارها حاکی از آن بود که رقم گوکسو در تاریخ کاشت آذرماه ۹۸ با وزن ۱۰۰ دانه ۴۸ گرم بیش‌ترین وزن ۱۰۰ دانه را به خود اختصاص داد و با رقم آجیلی با وزن ۱۰۰ دانه ۴۲ گرم تفاوت آماری معنی‌داری داشت و رقم پیروز در تاریخ کاشت ۲۲ اردیبهشت-ماه ۹۹ دارای کم‌ترین مقدار وزن ۱۰۰ دانه با ۱۱ گرم بود که با رقم آجیلی اختلاف معنی‌داری داشت. در بررسی یک رقم در تاریخ کشت‌های متفاوت مشخص گردید که از لحاظ وزن۱۰۰ دانه در تمام تاریخ کشت‌ها با هم اختلاف معنی‌داری داشتند. بیشتر بودن وزن ۱۰۰ دانه علاوه‌بر تأثیر شرایط محیطی تا حدود زیادی به ژنتیک رقم وابسته بوده، به این معنی که رقم پیروز با توجه به اینکه جزو ارقام تیپ دسی (رنگی) است، اغلب دارای وزن ۱۰۰ دانه کمتری نسبت به ارقام تیپ کابلی (سفید) است (شکل ۷). این نتایج بیانگر این موضوع است که افزایش وزن ۱۰۰ دانه ارقام در تاریخ کاشت ۶ آذرماه ۹۸، به‌دلیل سرمازدگی مزرعه و از بین رفتن بوته‌های ضعیف بوده که در این شرایط تراکم مزرعه کاهش یافته و بوته‌های باقی‌مانده علاوه‌بر طولانی بودن دوره رشد رویشی، بیشترین استفاده را از رطوبت موجود در خاک و بارندگی‌های اوایل بهار و مواد غذایی خاک برده‌اند. پایین بودن مقدار وزن ۱۰۰ دانه ارقام در تاریخ کاشت ۲۲ اردیبهشت‌ماه ۹۹ به‌دلیل پایین بودن میزان رطوبت خاک در زمان کاشت، عدم بارندگی‌های مؤثر بعد از زمان کاشت، مصادف شدن اوج فعالیت آفات و بیماری‌های گیاهی با مراحل حساس رشدی گیاه و همچنین مصادف شدن مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه با گرمای آخر فصل بهار است. در پژوهش لیاکات و همکاران (Liaqat et al., 2018) مشاهده شد که کشت تأخیری باعث کاهش وزن ۱۰۰ دانه بلال ذرت (*Zea mays* L.) شد که با نتایج این پژوهش نیز مطابقت داشت. نتایج پژوهشی نشان داده است که رقم نخود بر وزن دانه تأثیر مستقیم دارد. در این خصوص، رقم آزاد نسبت به سایر ارقام دارای وزن ۱۰۰ دانه بیشتری بوده است. این ویژگی بیانگر توانایی بهتر این رقم در انتقال مواد تولیدشده به دانه‌ها و کامل شدن فرآیند پرشدگی آن‌ها در پایان فصل رشد است. دانه‌های درشت‌تر در رقم آزاد، ضمن ارتقاء کیفیت محصول، نشان‌دهنده کارآیی بیشتر این رقم در استفاده از منابع غذایی و شرایط محیطی می‌باشند (Naseri et al., 2012).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین رقم‌ها، تاریخ‌های کاشت و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر عملکرد اختلاف آماری معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین ارقام در تاریخ کشت‌های مختلف از لحاظ عملکرد دانه نشان داد که رقم گوکسو در تاریخ کشت ۱۱اسفندماه ۹۸ با ۶۴۸ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد را به خود اختصاص داد که با رقم آجیلی با عملکرد ۶۵۹ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌داری نداشت و رقم آنا در تاریخ کشت ۲۲ اردیبهشت‌ماه ۹۹ با ۴۷ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد را داشت (شکل ۸).



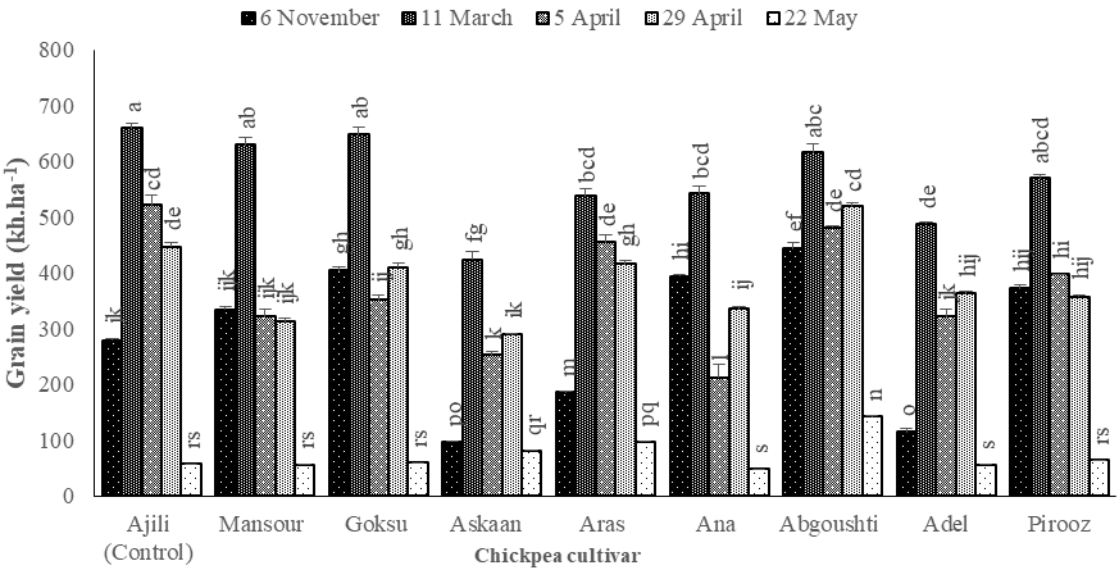
شکل ۷- مقایسه میانگین وزن ۱۰۰ دانه نخود در تاریخ کشت‌ها و ارقام مختلف

Figure 7 - Comparison of the average weight of 100 chickpea seeds in different sowing dates and cultivars

میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, followed by similar letters, are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

افزایش عملکرد ارقام نخود در تاریخ کاشت ۱۱ اسفندماه، به‌دلیل برخوردار شدن گیاه از بیشترین دوران رشد رویشی و تکاملی گیاه و استفاده بهینه از رطوبت موجود در خاک و بارندگی‌های اوایل بهار و همچنین به‌دلیل دور شدن گیاه از عوامل نامساعد محیطی از جمله تنش سرما در اوایل فصل رشد، آفات و بیماری‌های گیاهی، خشکی و گرمای آخر فصل است. عملکرد ارقام در تاریخ کشت ۶ آذرماه ۹۸ عملکرد مورد انتظار را نداشت و در منطقه اجرای آزمایش که دارای شرایط آب‌وهوایی سرد بوده و متأسفانه میانگین ۴۵ درصد سطح سبز داشت و سرما باعث از بین بردن حدود ۵۵ درصد از سطح مزرعه گردید. بیشتر بذوری که اواخر فصل پاییز جوانه زده، تنش سرما آن را از بین برده و این تاریخ کشت شدیداً تحت تأثیر دما بود، و سرما و علف هرز باعث کاهش شدید عملکرد گردید. این تنش مهم باعث گردید که زارعین منطقه، رغبتی برای کاشت نخود در فصل پاییز نداشته و کشت آن را به فصل بهار موکول کرده و کشت بهاره نیز در دوره رشد رویشی و زایشی با تنش گرمایی آخر فصل بهار مواجه بوده و عملکرد آن نیز کاهش می‌یابد. در کاشت زودهنگام، گیاه دارای اندام های رویشی بزرگ‌تری می‌شود که قادر است مقصد زایشی بزرگ‌تری را تغذیه کرده و به‌میزان کافی ماده خشک به آن اختصاص دهد که در نتیجه عملکرد افزایش می‌یابد (Fallah, 2008). اعمال مدیریت زراعی مناسب به‌منظور بهره‌گیری از پتانسیل عملکرد واریته‌های مختلف گیاهان زراعی از جمله نخود ضروری است. تنوع در عملکرد می‌تواند ناشی از تنوع عوامل اقلیمی تاریخ کاشت و مدیریت عملیات زراعی باشد. تاریخ کاشت به‌عنوان یک راهکار ساده و کم‌هزینه در مطالعات بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است (Ghalkhani et al., 2022). همچنین در یافته‌های پژوهشی واکنش سه ژنوتیپ نخود را در سه تاریخ کاشت پاییزه و زمستانه و بهاره در منطقه نیمه گرمسیر جنوب استان لرستان مورد بررسی قرار داده و گزارش نمودند که با تأخیر در زمان کاشت و مصادف شدن مرحله پر شدن دانه با تنش خشکی و درجه حرارت‌های نسبتاً بالا در انتهای فصل رشد، تولید زیست توده و عملکرد دانه نخود به ترتیب به میزان ۶۶ و ۸۹ درصد کاهش یافت، طبق گزارش این محققان کاهش تعداد غلاف در بوته ۶۰ درصد و کاهش وزن ۱۰۰ دانه ۳۲ درصد بیش‌ترین نقش را در کاهش عملکرد داشته‌اند (Mousavi & Pezeshkpour, 2006).



شکل ۸- مقایسه میانگین عملکرد دانه نخود در تاریخ کشت‌ها و ارقام مختلف

Fig. 8- Comparison of average chickpea grain yield across sowing dates and cultivars

میانگین‌های دارای حرف مشترک، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, followed by similar letters are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

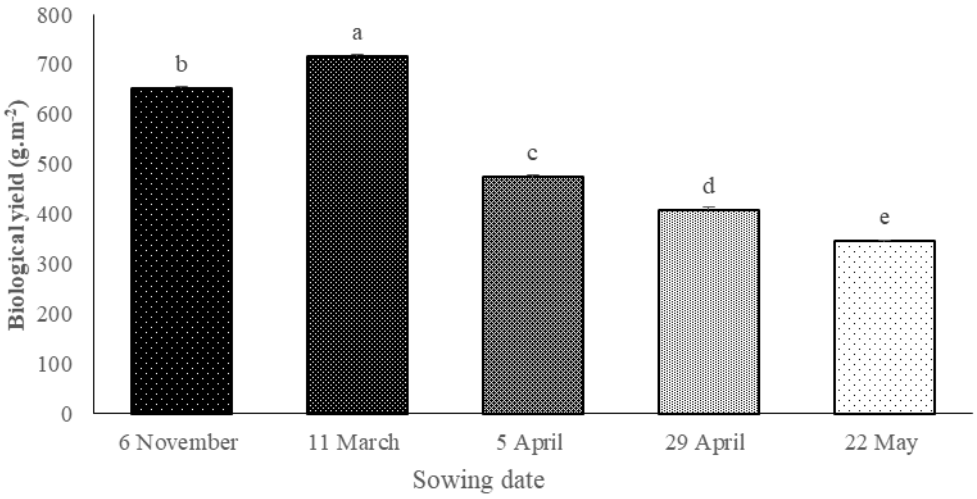
عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تاریخ‌های کاشت و بین رقم‌ها اختلاف آماری معنی‌دار از لحاظ عملکرد بیولوژیک وجود داشت. اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین تاریخ کاشت‌های مختلف نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک در تاریخ کاشت‌های ۱۱ اسفندماه و با میانگین ۶۶/ ۷۱۶ گرم در مترمربع به دست آمد و کمترین عملکرد بیولوژیک با میانگین ۳۴۵/۵۵ گرم در مترمربع متعلق به تاریخ کشت ۲۲ اردیبهشت‌ماه ۹۹ بود (شکل ۹). برخورداری از رطوبت کافی و طول دوره رشد رویشی طولانی‌تر در تاریخ کشت‌های اول و دوم باعث افزایش زیست‌توده بوته گردیده و در نهایت عملکرد بیولوژیک افزایش پیدا کرده و افزایش عملکرد بیولوژیک باعث تشکیل مخزن بزرگ‌تر برای تغذیه دانه و افزایش عملکرد می‌گردد (Seyedi & Hamzei, 2021). مقایسه میانگین ارقام نخود نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به رقم آجیلی (شاهد) (۵۷۹ گرم در مترمربع) بود، هرچند سایر ارقام غیر از رقم پیروز نیز با رقم آجیلی اختلاف معنی‌داری نداشتند و کمترین عملکرد بیولوژیک (۴۲۱ گرم در مترمربع) متعلق به رقم پیروز بود که با رقم شاهد اختلاف معنی‌دار داشت (شکل ۱۰). کارآیی و عملکرد کل وزن خشک یک جامعه گیاهی وابسته به استفاده از تشعشع خورشید در طول فصل رشد است و در شرایط مطلوب زراعی که هیچ عامل محدودکننده دیگری موجود نباشد، میزان نور جذب‌شده توسط گیاه در طی فصل رشد تعیین‌کننده‌ترین عامل تولید ماده خشک است (Khojamli et al., 2020).

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت، رقم نخود و همچنین اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم بر صفت شاخص برداشت در سطح معنی‌داری آماری تأثیرگذار بودند (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان داد که رقم 'آراس' در تاریخ کاشت ۵ فروردین ۱۳۹۹ بیشترین مقدار شاخص برداشت را دارا بود، درحالی‌که رقم آجیلی (شاهد) در تاریخ کاشت ۲۲ اردیبهشت ۱۳۹۹ کمترین شاخص برداشت را نشان داد. نتایج نشان داد که تغییرات شاخص برداشت متناسب با سطوح عوامل مستقل نبوده و این شاخص تحت تأثیر اثر متقابل این دو عامل قرار گرفته است. به بیان دیگر، اثر تاریخ کاشت و رقم نخود بر شاخص برداشت، مستقل از یکدیگر نبوده و تعامل بین این دو عامل به‌شکل معنی‌داری باعث تغییر مقدار شاخص برداشت شده است. مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم

نشان داد که تیمارها از نظر این صفت در سه گروه آماری متمایز قرار گرفتند؛ به‌گونه‌ای که تیمار مربوط بـه رقـم 'آراس' در تـاریخ کاشـت سوم (۵ فروردین) با مقدار ۵۰/۵۴ درصد، بالاترین و تیمار رقم آجیلـی در تاریخ کاشت ۲۲ اردیبهشت بـا ۱۴/۴۹ درصـد، پـایین‌ترین میـزان شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند (شکل ۱۱). انتخاب تـاریخ کاشـت مناسـب، یکـی از مهم‌تـرین جنبـه‌های مـدیریتی در تولیـد محصولات زراعی محسوب می‌شود که نقش کلیدی در کاهش اثرات تنش‌های غیرزیستی و زیستی از جملـه آفـات، بیماری‌هـا، علف‌هـای هرز، آماده‌سازی بستر بذر و همچنین افزایش بهره‌وری اقتصادی ایفـا می‌کند (Richards et al., 2022).

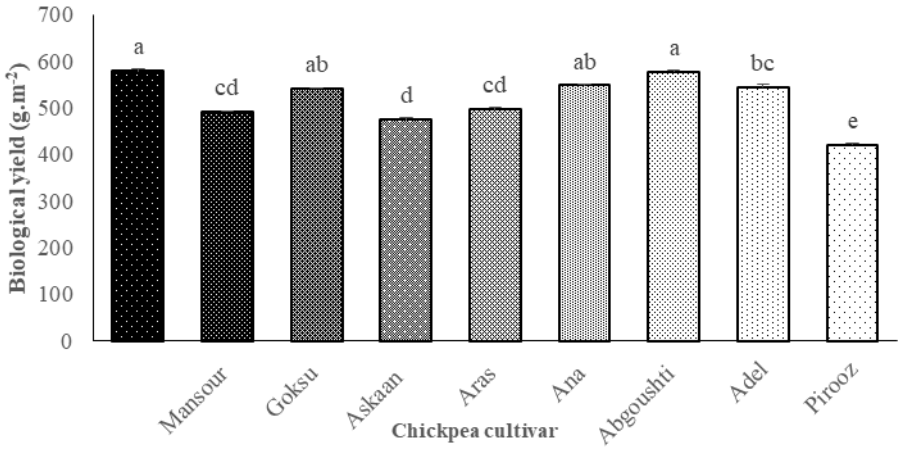


شکل ۹- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک نخود در تاریخ کشت‌های مختلف

Fig. 9- Comparison of the average biological yield of chickpea across different sowing dates

میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, followed by similar letters, are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

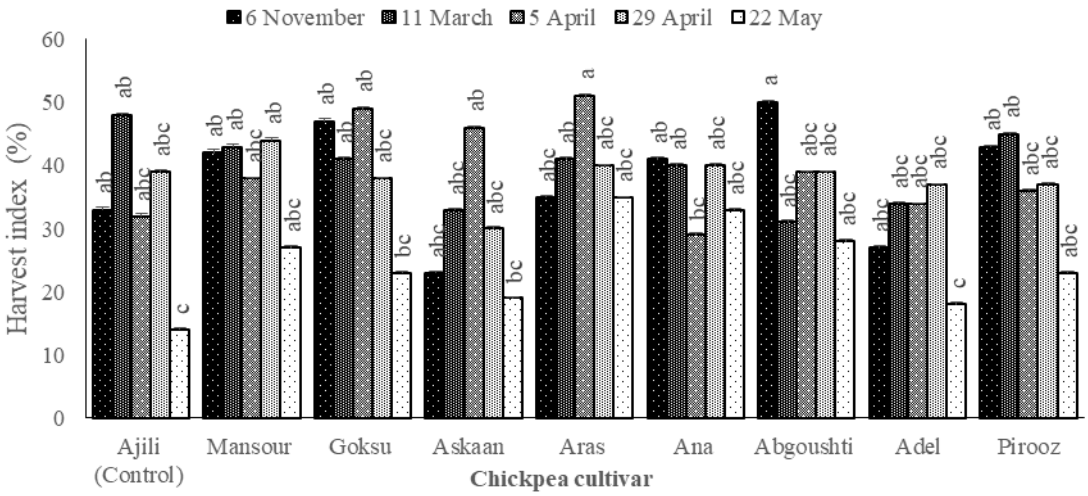


شکل ۱۰- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک نخود در ارقام مختلف نخود

Fig. 10- Comparison of the average biological yield across different chickpea varieties

میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.



شکل ۱۱- مقایسه میانگین شاخص برداشت نخود در تاریخ کشت‌ها و ارقام مختلف

Fig. 11- Comparison of average chickpea harvest index in different sowing dates and cultivars

میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, followed by similar letters, are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

نتیجه‌گیری

این پژوهش تأکید می‌کند که انتخاب تاریخ صحیح کشت برای بهبود کارآیی تولید نخود اهمیت زیادی دارد. همچنین، به دست آوردن نتایج مطلوب در ارتباط با اقلیم‌های مختلف نیز به افزایش تولید و کاهش ریسک‌ها در مناطق کشاورزی کمک می‌کند. نتایج نشان‌دهنده این است که زمان کشت و نوع رقم نخود بر تمامی جنبه‌های زراعی مؤثر است و این اطلاعات می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا با بهینه‌سازی زمان کشت و انتخاب ارقام مناسب، عملکرد بهتری از مزارع نخود به دست آورند. در تاریخ‌های مختلف کاشت، رقم وارداتی گوکسو و رقم محلی آبگوشتی بیشترین عملکرد از لحاظ تولید دانه را داشتند. همچنین بهترین تاریخ کاشت ۱۱ اسفندماه و رقم گوکسو بودند. ترکیب این دو عامل (تاریخ ۱۱ اسفند و رقم گوکسو) بیشترین بازدهی را از لحاظ عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه و رشد مناسب نشان دادند و برای مناطقی با اقلیم مشابه، قابل توصیه هستند. تاریخ کاشت مناسب می‌تواند با کاهش تنش‌های محیطی نظیر سرما و خشکی، موجب بهبود سبز شدن، رشد رویشی، تشکیل غلاف و در نهایت افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک گردد. همچنین، تفاوت ژنتیکی بین ارقام از نظر تحمل به تنش‌ها و پتانسیل عملکردی، نقش مهمی در پاسخ به تاریخ‌های مختلف کاشت دارد. بنابراین، مدیریت صحیح زمان کاشت و استفاده از ارقام سازگار می‌تواند گامی مؤثر در افزایش بهره‌وری کشت نخود در مناطق سرد و نیمه‌خشک کشور باشد.

سپاسگزاری

از مسئولین آزمایشگاه‌ها دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد، ادارات کشاورزی و هواشناسی شهرستان سقز جهت فراهم کردن امکانات این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Aghaeifard, K., Tobeh, A., Farzaneh, S., Karbalaei Khiavi, H., & Sharifiziveh, P. (2025). The effect of sowing dates and different densities of cover crops on weed control and soybean (*Glycine max* L.) yield. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. *35*(2), 63-84. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/saps.2024.58295.3108
2. Berger, J.D., Turner, N.C., Siddique, K.H.M., Knights, E.J., Brinsmead, R.B., Mock, I., Edmondson, C., & Khan, T.N. (2004). Genotype by environment studies across Australia reveal the importance of phenology for chickpea

(*Cicer arietinum* L.) improvement. *Australian Journal of Agricultural Research*, *55*, 1071–1084. https://doi.org/10.1071/AR04104

3. Devasirvatham, V., Gaur, P.M., Mallikarjuna, N., Raju, T.N., Trethowan, R.M., & Tan, D.K.Y. (2013). Reproductive biology of chickpea response to heat stress in the field is associated with the performance in controlled environments. *Field Crops Research*, *142*, 9–19. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.11.011
4. Devasirvatham, V., Gaur, P.M., Raju, T.N., Trethowan, R.M., & Tan, D.K.Y. (2015). Field response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to high temperature. *Field Crops Research*, *172*, 59–71. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.11.017
5. Fallah, S. (2008). Effect of planting date and plant density on yield and yield components in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) in dry condition of Khorram Abad. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *45*, 123–135. (In Persian with English abstract). http://jcpp.iut.ac.ir/article-1-905-fa.html
6. FAOSTAT. (2020). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. https://faostat.fao.org/faostat/ (accessed on 14 November 2021)
7. Fordoński, G., Okorski, A., Olszewski, J., Dąbrowska, J., & Pszczółkowska, A. (2023). The effect of sowing date on the growth and yield of soybeans cultivated in North-Eastern Poland. *Agriculture*, *13*(12), 2199. https://doi.org/10.3390/agriculture13122199
8. Gaur, P.M., Jukanti, A.K., & Varshney, R.K. (2012). Impact of genomic technologies on chickpea breeding strategies. *Agronomy*, *2*, 199–221. https://doi.org/10.3390/agronomy2030199
9. Gaur, P.M., Samineni, S., Thudi, M., Tripathi, S., Sajja, S.B., Jayalakshmi, V., Mannur, D.M., Vijayakumar, A.G., Ganga Rao, N.V.P.R., & Ojiewo, C. (2019). Integrated breeding approaches for improving drought and heat adaptation in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant Breeding*, *138*, 389–400. https://doi.org/10.1111/pbr.1264
10. Ghalkhani, A., Paknejad, F., Mahrokh, A., Ardakani, M.R., & Golzardi, F. (2022). Effects of planting method and sowing date on yield, water use efficiency and morphological traits of two grain maize cultivars. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *32*(1), 1–16. https://doi.org/10.22034/saps.2021.44751.2644
11. Grasso, N., Lynch, N.L., Arendt, E.K., & O'Mahony, J.A. (2022). Chickpea protein ingredients: A review of composition, functionality, and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *21*, 435–452. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12878
12. International Seed Testing Association (ISTA). (2006). *International rules for seed testing*. Basserdorf, Switzerland: ISTA.
13. Khojamli, A., Nakhzari Moghaddam, A., Mollashahi, M., & Ahangar, L. (2020). Investigation of some quantitative and qualitative characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) Adel cv. under the influence of nitrogen and supplemental irrigation. *Iranian Journal of Pulses Research*, *10*(2), 193–203. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i2.70012
14. Lack, L., & Sadras, V.O. (2014). The critical period for yield determination in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crop Research*, *168*, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.08.003
15. Liaqat, W., Akmal, M., & Ali, J. (2018). Sowing date effect on production of high yielding maize varieties. *Sarhad Journal of Agriculture*, *34*(1), 102–113. https://doi.org/10.17582/journal.sja/2018/34.1.102.113
16. Mafoua, L., Richards, M.F., Norton, S.L., & Nguyen, G.N. (2020). Breeding for abiotic stress adaptation in chickpea (*Cicer arietinum* L.): A comprehensive review. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, *2*, e200015. https://doi.org/10.20900/cbgg20200015
17. Mousavi, S.K., & Pezeshkpour, P. (2006). Effects of planting pattern on pea (*Pissum sativum* L.) production in dryland situation of Lorestan province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *4*(2), 375-384. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v4i2.1275
18. Naseri, R., Siyadat, A., Soleymani Fard, A., Soleymani, R., & Khosh Khabar, H. (2012). Effects of planting date and density on yield, yield components and protein content of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under rainfed conditions in Ilam province. *Iranian Journal of Pulses Research*, *2*(2), 7-18. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v2i2.19018
19. Pokhrel, A., Dangi, S.R., & Poudel, P.P. (2025). Impact of sowing date and variety on the performance of chickpea in the Western-Terai region of Nepal. *Asian Journal of Research in Crop Science*, *10*(1), 28–36. https://doi.org/10.9734/ajrcs/2025/v10i1329
20. Potopová, V., Trifan, T., Trnka, M., De Michele, C., Semerádová, D., Fischer, M., Meitner, J., Musiolková, M.,

Muntean, N., & Clothier, B. (2023). Copulas modelling of maize yield losses – Drought compound events using the multiple remote sensing indices over the Danube River Basin. *Agricultural Water Management*, *280*, 108217. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108217.

21. Pushpavalli, R., Berger, J.D., Turner, N.C., Siddique, K.H.M., Colmer, T.D., & Vadez, V. (2020). Cross-tolerance for drought, heat and salinity stresses in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, *206*, 405–419. https://doi.org/10.1111/jac.12393
22. Rasheed, A., Gill, R.A., Hassan, M.U., Mahmood, A., Qari, S., Zaman, Q.U., Ilyas, M., Aamer, M., Batool, M., & Li, H. (2021). Recent advancements in the use of CRISPR/Cas9 technology to enhance crops and alleviate global food crises. *Current Issues in Molecular Biology*, *43*, 1950–1976. https://doi.org/10.3390/cimb43030135
23. Richards, M.F., Maphosa, L., & Preston, A.L. (2022). Impact of sowing time on chickpea (*Cicer arietinum* L.) biomass accumulation and yield. *Agronomy*, *12*, 160. https://doi.org/10.3390/agronomy12010160
24. Sadras, V.O., & Slafer, G.A. (2012). Environmental modulation of yield components in cereals: Heritabilities reveal a hierarchy of phenotypic plasticities. *Field Crops Research*, *127*, 215–224. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.11.014
25. Sadras, V., & Dreccer, M.F. (2015). Adaptation of wheat, barley, canola, field pea and chickpea to the thermal environments of Australia. *Crop and Pasture Science*, *66*, 1137–1150. https://doi.org/10.1071/CP15129
26. Sandeep, G.S., Chil, U., & Viswanadhuni, U.K. (2023). Effect of dates of sowing on growth and yield of chickpea varieties. *International Journal of Environment and Climate Change*, *13*(10), 834–838. https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i102723
27. Serafin-Andrzejewska, M., Helios, W., Białkowska, M., Kotecki, A., & Kozak, M. (2024). Sowing date as a factor affecting soybean yield—A case study in Poland. *Agriculture*, *14*, 970. https://doi.org/10.3390/agriculture14070970
28. Seyedi, S.M., & Hamzei, J. (2021). Study effect of sowing dates on quantitative and qualitative yield of chickpea cultivars under dryland condition. *Journal of Plant Production Research*, *28*(4), 65–83. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22069/jopp.2020.17459.2608
29. Szczerba, A., Płażek, A., Pastuszak, J., Kopeć, P., Hornyák, M., & Dubert, F. (2021). Effect of low temperature on germination, growth, and seed yield of four soybean (*Glycine max* L.) cultivars. *Agronomy*, *11*(4), 800. https://doi.org/10.3390/agronomy11040800.
30. Wood, J.A., Knights, E.J., Harden, S., & Hobson, K.B. (2019). Seed quality and the effect of introducing *Cicer echinospermum* to improve disease and pest resistance in desi chickpea. *Legume Science*, *1*, e22. https://doi.org/10.1002/leg3.22

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 3, 2025, p. 439-454

Effect of Planting Pattern and Non-Chemical Weed Control Methods on Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Uptake Efficiency in Cowpea (*Vigna unguiculata* L.)

Mohammad Kabi [1], Esfandiar Fateh [1*], Amir Aynehband [1] and Adel Rafatijoo [2]

1– Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2- Haft Tappeh Sugarcane Agriculture and Industry, Haft Tapeh, Ahvaz, Iran
(*- Corresponding author's Email: e.fateh@scu.ac.ir)

Received: 05-06-2025
Revised: 14-08-2025
Accepted: 17-08-2025
Available Online: 26-11-2025

How to cite this article:
Kabi, M., Fateh, E., Aynehband, A., & Rafatijoo, A. (2025). Effect of planting pattern and non-chemical weed control methods on nitrogen, phosphorus, and potassium uptake efficiency in cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Journal of Agroecology, 17*(3), 439-454. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.93099.1239

Introduction

Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) is an annual plant from the legume family. This plant is adaptable to different climates and can be cultivated in many regions of Iran. Legumes often experience strong competition from weeds because of their slow early growth rate and limited leaf area development during the initial stages of growth. Weeds reduce nutrient uptake, make mechanized harvesting difficult, and reduce the quality and quantity of grain and straw. Therefore, weed control is a key aspect of agricultural production. Chemical control is not the only solution. The continuous use of herbicides has negative environmental impacts and is not compatible with the goals of sustainable agriculture. Planting arrangements enhance weed competition by altering the structure of the canopy. Mulches reduce water evaporation, improve soil temperature, and reduce competition for water and nutrients. Mulches inhibit weed germination by providing shade, a physical barrier, and the release of allelopathic substances. They also reduce water evaporation, improve soil temperature, and reduce competition for water and nutrients. Mulches suppress weed germination by providing shade, a physical barrier, and the release of allelopathic substances. Despite the great differences in the growth habits of cowpea species, little is known about the effect of these differences on weed competition. Also, the effect of planting arrangement and plant mulch on yield and weed competition has not been investigated. Therefore, this study was conducted to determine the optimum planting arrangement to reduce yield loss and to evaluate the role of mulch in controlling weeds and their competition with cowpea.

Materials and Methods

This study was conducted during the 2021–2022 growing season at Haft Tappeh Sugarcane Cultivation Company in Shush, Iran, to evaluate the effects of planting patterns and non-chemical weed control methods on the uptake efficiency of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) in cowpea (Vigna unguiculata). The experiment was arranged as a factorial based on a randomized complete block design with three replications. The first factor was planting arrangement at three levels: (1) single-row planting with 10 cm spacing, (2) double-row

Authors retain the copyright.This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

https://doi.org/10.22067/agry.2025.93099.1239

planting with 20 cm spacing, and (3) triple-row planting with 30 cm spacing. The second factor was weed management method at six levels: (1) weed-infested control, (2) hand weeding twice (4 & 8 weeks after emergence), (3) wheat stubble mulch (5 t/ha), (4) wheat stubble mulch + weeding once, (5) sugarcane bagasse mulch (5 $t.ha^{-1}$), and (6) sugarcane bagasse mulch + weeding once. Each plot consisted of 4 ridges, 75 cm wide and 9 m2 in area. The amount of mulch in each plot was 4.5 kg with an approximate thickness of 5-7 cm. The mulches were distributed after planting and before the first irrigation (24/07/2022). Cowpea (Mashhadi cultivar) was planted on 23/07/2022. Mulches were distributed after the first irrigation, when the soil reached its field capacity, to prevent displacement. Fertilization included 100 $kg.ha^{-1}$ of phosphorus (triple superphosphate), 100 $kg.ha^{-1}$ of potassium (potassium sulfate) as a base, and 40 kg/ha of nitrogen (urea) in two applications (4-leaf stage and stem growth, 20 $kg.ha^{-1}$ each). Weed density and dry weight were measured 4 weeks after the treatments and at the end of the growth period with a 1×1 m^2 quadrat. Statistical analysis was performed with SAS version 9.4, and the means were compared with the LSD test at the 5% level ($p < 0.05$).

Results and Discussion

The results indicated that the interaction of planting arrangement and non-chemical weed control significantly affected nitrogen content in shoots ($p < 0.05$) and phosphorus content in seeds ($p < 0.01$). The triple-row planting arrangement exhibited the highest phosphorus content in shoots (0.81%) and seeds (1.4%), attributed to enhanced root expansion and reduced weed competition. The double-row arrangement showed the highest potassium content in shoots (6.1%) and seeds (3.44%), due to reduced intra-species competition. The treatment of sugarcane bagasse mulch + weeding once reduced wet and dry weed biomass significantly at 5% level (wet: 15.6 $g.m^{-2}$; dry: 3.7 $g.m^{-2}$).

Conclusion

The integrated application of sugarcane bagasse mulch and weeding once effectively decreased weed competition and enhanced nutrient availability, improved cowpea yield. Given the environmental concerns associated with chemical herbicides, these sustainable practices offer promising alternatives for weed management and soil fertility enhancement.

Keywords: Hand weeding, Mulch, Nutrient Uptake, Sugarcane Bagasse

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱٤۰٤، ص ٤٥٤-٤۳۹

ارزیابی نوع آرایش کاشت و مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز بر جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سیستم‌های زراعی لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)

محمد کعبی[۱]، اسفندیار فاتح[۱*]، امیر آینه بند[۱] و عادل رفعت جو[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۶

چکیده

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱ در شرکت کشت و صنعت نیشکر هفت‌تپه، شوش، برای بررسی اثر آرایش کاشت و مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز بر جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) انجام شد. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل سه الگوی کاشت (تک‌ردیفه، دوردیفه و سه‌ردیفه با فواصل ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر) و شش سطح مدیریت غیرشیمیایی (شاهد بدون وجین، دو مرتبه وجین، مالچ کلش گندم، مالچ کلش + یک وجین، مالچ باگاس نیشکر، و مالچ باگاس + یک وجین) بودند. نمونه‌برداری از اندام هوایی و دانه در مرحله بلوغ فیزیولوژیکی (پنج گیاه در هر کرت) انجام و با روش‌های استاندارد تجزیه شد. تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش آرایش کاشت × مدیریت غیرشیمیایی بر نیتروژن اندام هوایی ($p \leq ۰/۰۵$) و فسفر دانه ($p \leq ۰/۰۱$) معنی‌دار بود. الگوی سه‌ردیفه با ۰/۸۱ درصد فسفر اندام هوایی و ۱/۴ درصد فسفر دانه، به‌دلیل گسترش ریشه و کاهش رقابت علف‌هرز، برتر بود. الگوی دوردیفه با ۱/۶ درصد پتاسیم اندام هوایی و ۳/۴۴ درصد پتاسیم دانه، به‌دلیل تعادل اسمزی و رقابت کمتر درون‌گونه‌ای، بهترین عملکرد را داشت. تیمار مالچ باگاس + یک وجین، وزن تر (۱۵/۶ گرم بر مترمربع) و وزن خشک (۳/۷ گرم بر مترمربع) علف‌های هرز را به‌طور معنی‌داری در سطح پنج درصد کاهش داد. در نهایت پیشنهاد می‌شود که از الگوی سه‌ردیفه و مالچ باگاس نیشکر در کشاورزی پایدار برای کاهش علف‌های هرز و بهبود جذب مواد مغذی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: باگاس نیشکر، جذب عناصر غذایی، ، مالچ، وجین دستی

مقدمه

حبوبات به‌دلیل سرعت رشد کند و توسعه محدود سطح برگ در مراحل اولیه رشد، توان رقابت کمی با علف‌های هرز دارند. علف‌های هرز جذب عناصر غذایی را کاهش می‌دهند، برداشت مکانیزه را دشوار می‌کنند و کیفیت و کمیت دانه و کاه را پایین می‌آورند (Sinchana & Raj, 2020). ازاین‌رو، مهار علف‌های هرز یکی از جنبه‌های کلیدی در تولید محصولات کشاورزی است.

کشاورزان روش‌های مختلفی برای مدیریت علف‌های هرز به‌کار می‌گیرند. بااین‌حال، گرایش به خاک‌ورزی کم، افزایش سطح زیرکشت و کاهش تنوع گیاهان زراعی، مصرف علف‌کش‌های شیمیایی را افزایش داده است (Fontes et al., 2010). امّا مهار شیمیایی تنها راه‌حل نیست. استفاده مداوم از علف‌کش‌ها اثرات زیست‌محیطی منفی دارد و با اهداف کشاورزی پایدار سازگار نیست. همچنین انتقال ژن‌های مقاوم از گیاهان زراعی به علف‌های هرز می تواند مشکلات جدی‌تری ایجاد کند(Gherekhloo et al., 2016).

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲- کشت و صنعت نیشکر هفت تپه، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: e.fateh@scu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.93099.1239

بنابراین، کارشناسان و کشاورزان به استفاده از روش‌های غیرشیمیایی در کنار علف‌کش‌ها روی آورده‌اند. کاهش بار شیمیایی، متخصصان را به‌سمت مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز (IWM[1]) سوق داده است. یکی از روش‌های مؤثر در IWM، بهینه‌سازی آرایش کاشت برای افزایش توان رقابتی گیاه زراعی است. انتخاب فاصله مناسب بین بوته‌ها، جذب نور و رشد گیاه را بهبود می‌دهد (Robles et al., 2012). آرایش کاشت با تغییر ساختار سایه‌انداز گیاهی، رقابت با علف‌های هرز را تقویت می‌کند. شواهد نشان می‌دهد که بهینه‌سازی سایه‌انداز، سرکوب علف‌های هرز را بهبود می‌بخشد (Zhang et al., 2021). همچنین سبز شدن زودهنگام گیاه زراعی نسبت به علف‌هرز، دسترسی به منابع را افزایش می‌دهد. نظریه رقابت نامتقارن (Freckleton & Watkinson, 2001)بیان می‌کند که تفاوت‌های کوچک در مراحل اولیه رشد می‌تواند به تفاوت‌های بزرگ در زیست‌توده منجر شود. برای پیش‌بینی دقیق افت عملکرد و تعیین آستانه‌های اقتصادی، اطلاعات درباره تراکم و آرایش مکانی بوته‌ها ضروری است. استفاده از مالچ‌ها نیز روشی مؤثر برای کاهش جمعیت علف‌های هرز است.

مالچ‌ها با ایجاد سایه، مانع فیزیکی و آزادسازی مواد آللوپاتیک، جوانه‌زنی علف‌های هرز را مهار می‌کنند. همچنین تبخیر آب را کاهش می‌دهند، دمای خاک را بهبود می‌بخشند و رقابت برای آب و مواد غذایی را کم می‌کنند (Sinchana & Raj, 2020). تأثیر مالچ به مقدار استفاده‌شده بستگی دارد (Behgam et al., 2019). لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) گیاهی یک‌ساله از خانواده بقولات است. این گیاه ریشه‌ای به‌طول ۸۰–۶۰ سانتی‌متر، ساقه رونده با قطر ۱/۵–۰/۵ سانتی‌متر و برگ‌های سه‌برگچه‌ای با دمبرگ بلند دارد. بیش از ۲۰ گونه از آن شناسایی شده که به‌صورت سبز یا خشک کشت می‌شود (Sekhawat et al., 2018). این گیاه با اقلیم‌های مختلف سازگار است و در بسیاری از مناطق ایران قابل کشت می‌باشد.

با وجود تفاوت‌های زیاد در عادت رشد گونه‌های لوبیا چشم بلبلی، اطلاعات کمی درباره تأثیر این تفاوت‌ها بر رقابت با علف‌های هرز وجود دارد. همچنین اثر آرایش کاشت و مالچ گیاهی بر عملکرد و رقابت این گیاه با علف‌های هرز بررسی نشده است. بنابراین، این پژوهش با هدف تعیین بهترین آرایش کاشت برای کاهش افت عملکرد و ارزیابی نقش مالچ در مهار علف‌های هرز و رقابت آن‌ها با لوبیا چشم بلبلی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱ در شرکت کشت و صنعت نیشکر هفت‌تپه، شوش، خوزستان (طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی، ارتفاع ۱۴۳ متر از سطح دریا) با اقلیم خشک و نیمه‌خشک و میانگین بارندگی سالانه ۲۵۰ میلی‌متر انجام شد. شرایط آب‌وهوایی دوره رشد در جدول ۱ ارائه شده است. خاک مزرعه (عمق ۰–۳۰ سانتی‌متر) لومی–رسی با نیتروژن ۰/۰۷۸ درصد، فسفر قابل جذب ۱۵/۲ درصد، پتاسیم قابل جذب ۱۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، اسیدیته ۷/۷ و هدایت الکتریکی ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر بود.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول شامل سه الگوی کاشت: ۱) تک‌ردیفه با فاصله بین بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر و فاصله بین پشته‌ها ۷۵ سانتی‌متر، ۲) دوردیفه با فاصله بین بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها روی هر پشته ۳۵ سانتی‌متر، و ۳) سه‌ردیفه با فاصله بین بوته‌ها ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها روی هر پشته ۲۰ سانتی متر بود. عامل دوم شامل شش سطح مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز: ۱) شاهد بدون وجین، ۲) دو مرتبه وجین (چهار و هشت هفته پس از سبز شدن)، ۳) مالچ کلش گندم (پنج تن در هکتار)، ۴) مالچ کلش + یک وجین (چهار هفته پس از سبز شدن)، ۵) مالچ باگاس نیشکر (پنج تن در هکتار)، و ۶) مالچ باگاس + یک وجین (چهار هفته پس از سبز شدن) بود. هر کرت شامل چهار پشته به عرض ۷۵ سانتی متر و مساحت نُه مترمربع بود. مقدار مالچ در هر کرت ۴/۵ کیلوگرم با ضخامت تقریبی ۵–۷ سانتی‌متر و وزن حجمی تقریبی ۱۰۰ (کلش گندم) و ۱۲۰ (باگاس نیشکر) کیلوگرم بر مترمکعب بود. مالچ‌ها پس از کاشت و قبل از اولین آبیاری (۱۴۰۱/۰۵/۰۲) توزیع شدند.

زمین با شخم، دیسک و فارو آماده شد. لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)رقم مشهدی در تاریخ ۱۴۰۱/۰۵/۰۱ کاشت شد. مالچ‌ها پس از اولین آبیاری (۱۴۰۱/۰۵/۰۲) و رسیدن خاک به ظرفیت زراعی توزیع شدند تا از جابه‌جایی جلوگیری شود. کوددهی شامل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (سوپرفسفات تریپل)، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (سولفات پتاسیم) به‌صورت پایه و ۴۰

1- Integrated Weed Management

کیلوگرم در هکتار نیتروژن (اوره) در دو نوبت (مرحله چهار برگی و رشد ساقه، هرکدام ۲۰ کیلوگرم در هکتار) بود. آبیاری و تنک کردن براساس نیاز گیاه انجام شد.

علف‌های هرز دو هفته پس از اعمال تیمارها به‌صورت چشمی ارزیابی گردید. تراکم و وزن خشک علف‌ها چهار هفته پس از تیمارها و در پایان دوره رشد (۱۴۰۱/۰۷/۳۰) با کوادرات ۱×۱ مترمربع اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در آون (دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، ۴۸ ساعت) خشک و توزین گردید. نیتروژن به‌روش پرسولفات دیجستیون (Purcell & King, 1996)، فسفر به‌وسیله اسپکتروفوتومتری (Jackson, 1967)، و پتاسیم به‌روش استخراج (Hamada & El-Enany, 1994)اندازه‌گیری شد. نرمال بودن داده‌ها از طریق آزمون شاپیرو–ویلک و یکنواختی واریانس توسط آزمون لوین در SAS نسخه ۹/۴ بررسی شد. در صورت غیرنرمال بودن یا ناهمگنی واریانس، از تبدیل لگاریتمی یا آزمون ولچ استفاده گردید. تجزیه آماری به‌وسیله نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد و میانگین‌ها به‌وسیله آزمونLSD در سطح پنج درصد (۰/۰۵≥ح) مقایسه شدند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physical and chemical characteristics of the soil in the experimental field

عمقDepth (cm)	نیتروژن N (%)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS.m^{-1})	اسیدیته Acidity	فسفر قابل جذب Absorbable P (%)	پتاسیم قابل جذب Absorbable K (mg.kg^{-1})	بافت Texture
0-30	0.078	1.8	7.7	15.2	153	loam - clay

سنجش عنصر پتاسیم نمونه‌های گیاهی

جهت اندازه‌گیری عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، نمونه‌های خشک‌شده دانه و اندام هوایی آسیاب شده و به آزمایشگاه منتقل گردید. اندازه‌گیری عنصر پتاسیم به‌روش حمدا و العنانی (Hamada & EL-enany, 1994) به‌شرح زیر صورت گرفت.

میزان پتاسیم گیاه را برحسب میلی‌گرم بر گرم از طریق معادله ۱ محاسبه شد.

$$A= y \times 100/1000 \times 1000/2$$

که در آن، y: عدد حاصل از منحنی بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم، A: میزان پتاسیم بر حسب میلی گرم بر گرم و ۲: وزن خشک اولیه بر حسب گرم است.

نحوه اندازه‌گیری عنصر نیتروژن نمونه‌های گیاهی

در این پژوهش از روش توصیف‌شده (Purcell & King, 1996)برای اندازه‌گیری مقادیر نیتروژن استفاده شد. در این روش از منحنی استاندارد KNO_3 استفاده شد. مقدار ۳۶۱ میلی‌گرم پتاسیم نیترات را در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه، به اضافه ۰/۲ میلی‌لیتر کلروفرم حل کرده و سپس غلظت‌های مختلفی از پتاسیم نیترات (۰/۵، ۱، ۳، ۵ و ۱۰ میکروگرم نیتروژن) تهیه شد و جذب این غلظت‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتری در طول موج ۵۴۰ نانومتر قرائت و منحنی استاندارد مورد نظر رسم شد که در این مرحله گرادیانی از رنگ قرمز قابل مشاهده بود (Mir, 2008).

اندازه‌گیری میزان فسفر بافت گیاه و دانه

برای اندازه‌گیری فسفر کل در بافت گیاه میزان پنج میلی‌لیتر از محلول‌های عصاره و شاهد را به بالن ژوژه یا لوله آزمایش ۲۵ میلی‌لیتر منتقل و سپس پنج میلی‌لیتر از محلول آمونیوم مولیبدات–وانادات به آن اضافه کرده و به حجم رسانده شد. جذب نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر بعد از ۱۵ الی ۲۰ دقیقه قرائت گردید (Jackson, 1967).

تجزیه آماری

نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون شاپیرو–ویلک و یکنواختی واریانس به‌وسیله آزمون لوین در نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ بررسی شد. نتایج نشان داد که داده‌ها برای صفات مورد مطالعه (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، وزن تر و خشک علف‌های هرز) توزیع نرمال و واریانس یکنواخت داشته، بنابراین تجزیه واریانس (ANOVA) و آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شدند. تجزیه آماری به‌وسیله SASنسخه ۹/۴ انجام گردید و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح پنج درصد مقایسه شدند. همچنین ترسیم نمودارها با استفاده از برنامه‌های Word و Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که آرایش کاشت و مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز به‌طور معنی‌داری بر جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم لوبیا چشم بلبلی تأثیر دارند. برهم‌کنش آرایش کاشت × مدیریت غیرشیمیایی بر نیتروژن اندام هوایی ($p \leq ۰/۰۵$) و فسفر دانه ($p \leq ۰/۰۱$) معنی‌دار بود، که نشان‌دهنده اهمیت ترکیب این دو عامل در بهینه‌سازی جذب مواد مغذی است. تحلیل آماری با آزمون شاپیرو–ویلک و لوین تأیید کرد که داده‌ها توزیع نرمال و واریانس یکنواخت دارند ($p \leq ۰/۰۵$) بنابراین استفاده از ANOVA و LSD معتبر بود.

درصد نیتروژن در اندام هوایی و دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس، درصد نیتروژن اندام هوایی لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) تحت تأثیر برهم‌کنش آرایش کاشت و مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز در سطح پنج درصد قرار گرفت (جدول ۲). در مقابل، درصد نیتروژن دانه تنها تحت تأثیر اثر اصلی مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز در سطح یک درصد بود (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین برهم‌کنش عامل‌های آزمایشی نشان داد که در الگوی تک‌ردیف، تیمارهای مالچ کلش گندم، مالچ کلش گندم به همراه یک مرتبه وجین، و مالچ باگاس نیشکر بالاترین درصد نیتروژن اندام هوایی را داشتند. در الگوی دوردیفه، تیمارهای دو مرتبه وجین، مالچ کلش گندم به همراه یک مرتبه وجین، و مالچ باگاس نیشکر به همراه یک مرتبه وجین، و در الگوی سه‌ردیفه، تیمار مالچ باگاس نیشکر به همراه یک مرتبه وجین، مقادیر مشابهی را نشان دادند (شکل ۱). بااین‌حال، مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز تأثیر قابل‌توجهی داشت؛ تیمارهای مالچ کلش گندم، مالچ کلش گندم به همراه یک مرتبه وجین، مالچ باگاس نیشکر، و مالچ باگاس نیشکر به همراه یک مرتبه وجین، درصد نیتروژن اندام هوایی بالاتری نسبت به تیمارهای شاهد آلوده به علف‌هرز (عدم وجین) و دو مرتبه وجین نشان دادند (جدول ۳). این نتایج بیانگر نقش مثبت مالچ‌های آلی در کاهش رقابت علف‌های هرز و بهبود جذب نیتروژن است. بررسی درصد نیتروژن دانه نشان داد که الگوهای کاشت با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند. بااین‌حال، اثر اصلی مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز نشان داد که تیمارهای مالچ باگاس نیشکر به همراه یک مرتبه وجین و مالچ کلش گندم به همراه یک مرتبه وجین بالاترین میانگین را داشتند و نسبت به سایر تیمارها، از جمله شاهد آلوده به علف‌هرز، برتری آماری معنی‌دار داشتند (جدول ۳). این نتایج بیانگر نقش مالچ‌ها در افزایش دسترسی به نیتروژن دانه است.

مواد غذایی تأثیر قابل‌توجهی بر رشد محصول دارند، امّا تحقیقات نشان داده‌اند که علف‌های هرز ممکن است به‌دلیل توانایی بیشتر در جذب عناصر غذایی، از کودها بهره بیشتری ببرند (Khan et al., 2013; Birla et al., 2023). این رقابت برای منابع، به‌ویژه نیتروژن، می‌تواند رشد و عملکرد گیاهان زراعی را کاهش دهد(Gholamhosseini et al., 2015). در چنین شرایطی، بهره‌گیری از روش‌های مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز و الگوهای کاشت مناسب ضروری به نظر می‌رسد. الگوی کاشت دوردیفه با کاهش رقابت درون‌گونه‌ای و برون‌گونه‌ای، جذب نیتروژن را بهبود می‌بخشد که با نتایج قنبری بیرگانی و همکاران (Ghanbari Birgani et al, 2010)برای ذرت (*Zea mays*) هم‌راستا است. این مطالعه گزارش داد که الگوی دوردیفه روی پشته، رقابت علف‌ها را کاهش داد و عملکرد دانه را افزایش داد. همچنین، استفاده از مخلوط علف‌کش‌های آترازین + آلاکلر در کف جوی نتایج مثبتی به همراه داشت.

کاربرد مالچ‌های گیاهی می‌تواند رقابت علف‌های هرز را کم کرده و دسترسی گیاه زراعی به مواد غذایی را بهبود بخشد. برخی محققان اظهار داشتند که استفاده از باگاس نیشکر در مزارع، آب‌شویی کربن آلی، نیتروژن، و فسفر را به‌طور معنی‌داری کاهش داد(Nan et al., 2022). در بررسی تأثیر مالچ‌های آلی بر ویژگی‌های خاک گزارش کردند که مالچ باگاس نیشکر بیشترین تأثیر را بر عناصر ضروری خاک داشت. این یافته‌ها با نتایج حاضر مبنی بر برتری تیمارهای حاوی مالچ در افزایش نیتروژن اندام هوایی و دانه سازگار است(Rabbani et al, 2023).

درصد فسفر در دانه و اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی نشان داد که درصد فسفر اندام هوایی لوبیا چشم بلبلی تنها تحت تأثیر اثر اصلی مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز در سطح پنج درصد قرار گرفت (جدول ۲). در مقابل، درصد فسفر دانه تحت تأثیر آرایش کاشت، مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز، و برهم‌کنش آن‌ها در سطح یک درصد بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات اصلی مدیریت غیرشیمیایی

علف‌های هرز نشان داد که تیمارهای مالچ باگاس نیشکر و مالچ باگاس نیشکر به همراه یک مرتبه وجین، به‌ترتیب بالاترین درصد فسفر اندام هوایی را داشتند، درحالی‌که کمترین درصد فسفر اندام هوایی مربوط به شاهد آلوده به علف‌هرز (عدم وجین) و مالچ کلش گندم بود (جدول ۲). برهم‌کنش الگوی کاشت و مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز به‌طور معنی‌داری درصد فسفر دانه را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۳). بر این اساس، تیمار مالچ کلش گندم به همراه یک مرتبه وجین در الگوی کشت تک‌ردیف، مالچ باگاس نیشکر و مالچ باگاس نیشکر به همراه یک مرتبه وجین در الگوی کشت دوردیفه، و تیمارهای مالچ کلش گندم، مالچ کلش گندم به همراه یک مرتبه وجین، مالچ باگاس نیشکر، و مالچ باگاس نیشکر به همراه یک مرتبه وجین در الگوی کشت سه‌ردیف، میانگین‌های مشابهی را نشان دادند و نسبت به سایر تیمارها از میانگین بالاتری برخوردار بودند (شکل ۲).

در مقابل، تیمارهای شاهد آلوده به علف‌هرز (عدم وجین) و دو مرتبه وجین علف‌های هرز، کمترین درصد فسفر دانه را داشتند.

علف‌های هرز می‌توانند با گیاهان زراعی بر سر منابع غذایی به‌ویژه عناصر غذایی رقابت کنند. موفقیت علف‌های هرز در این رقابت نه به‌دلیل نیاز بیشتر یا کارآیی مصرف بالاتر، بلکه به‌دلیل ویژگی‌هایی نظیر سطح و حجم گسترده‌تر اندام‌های زیرزمینی آن‌ها است که جذب عناصر غذایی از اعماق مختلف خاک را تسهیل می‌کند(Gholamhosseini et al., 2015). تفاوت در توانایی تسخیر منابع، از جمله تشعشع و عناصر غذایی، تأثیر قابل‌توجهی بر نتیجه این رقابت میان گیاه زراعی و علف‌هرز دارد (Soufizadeh et al., 2007) . بنابراین، به‌کارگیری روش‌های مؤثر برای مهار علف‌های هرز می‌تواند فشار رقابتی بر گیاه زراعی را کاهش دهد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات آزمایشی مرتبط با عناصر غذایی در دانه و اندام هوایی گیاه لوبیا چشم بلبلی تحت تأثیر سطوح مختلف عامل‌های آزمایشی

Table 2- The results of analysis (mean of squares) of variance of experimental traits related to nutritional elements in the seed and aerial parts of Vigna unguiculata plant under the influence of different levels of experimental factors

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square					
		درصد نیتروژن اندام هوایی N percentage of aerial parts	درصد نیتروژن بذر Seed N percentage	درصد فسفر اندام هوایی P percentage of shoot	درصد فسفر بذر Seed P percentage	درصد پتاس اندام هوایی Percentage of Shoot K	درصد پتاسیم بذر Seed K percentage
تکرار Block	2	0.03	0.01	0.03	0.04	0.22	0.07
آرایش کشت Planting arrangement	2	0.02 ^{ns}	0.002^{ns}	0.059^{ns}	0.11**	0.97*	0.057**
مدیریت تلفیقی علف‌های هرز Integrated management of weed control	5	0.09*	1.5**	0.057*	0.13**	2.18**	7.3**
اثر متقابل آرایش کشت و مدیریت تلفیقی علف‌های هرز Planting arrangement × integrated management of weed control	10	0.04*	0.019^{ns}	0.01 ^{ns}	0.05**	0.46 ^{ns}	0.26**
خطا Error	34	0.01	0.013	0.019	0.015	0.23	0.03
ضریب تغییرات CV	-	6.75	11.98	18.66	9.43	8.29	5.47

** و *: به‌ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک و پنج درصد و ns:عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

ns ,* and **: are non-significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

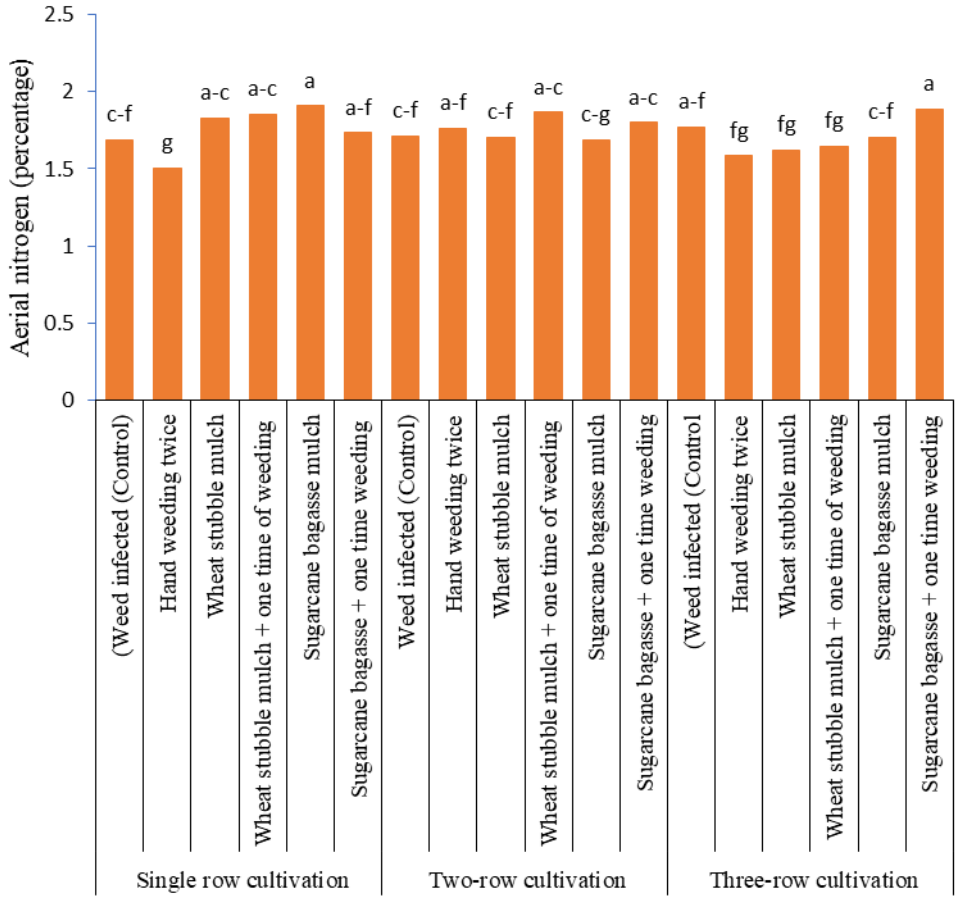
جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی عامل‌های آزمایشی مرتبط با عناصر غذایی در دانه و اندام هوایی گیاه لوبیا چشم بلبلی

Table 3- Comparison of the average main effects of the experimental factors related to nutritional elements in the seed and aerial parts of Vigna unguiculata

	درصد نیتروژن اندام هوایی N percentage of aerial parts(%)	درصد نیتروژن بذر Seed N percentage(%)	درصد فسفر اندام هوایی P percentage of shoot(%)	درصد فسفر بذر Seed P percentage(%)	درصد پتاس اندام هوایی Percentage of Shoot K(%)	درصد پتاسیم بذر Seed K percentage(%)
			آرایش کاشت Planting pattern			
تک ردیفه Single row cultivation	1.73a*	3.01a	0.7b	1.25b	5.7b	3.4a
دوردیفه Two rows cultivation	1.73a	2.99a	0.74ab	1.27b	6.1a	3.44a
سه ردیفه Three rows cultivation	1.67a	3.01a	0.81a	1.4a	5.7b	3.11b
LSD (5%)	0.07	0.24	0.09	0.08	0.32	0.12
			مدیریت غیرشیمیایی مهار علف‌های هرز Non-chemical management of weed control			
شاهد بدون وجین Weed infested	1.55c	2.54c	0.68b	1.16b	5d	2.52d
۲ بار وجین Twice weeding	1.62cb	3.05b	0.73bc	1.15b	5.4cd	2.54d
مالچ کاه و کلش گندم Wheat stubble mulch	1.72ab	2.87bc	0.68c	1.37	5.9cb	2.94c
مالچ کاه و کلش گندم + ۱ بار وجین Wheat stubble mulch + one time of weeding	1.79a	3.46a	0.72cb	1.41a	6.2ab	3.02c
مالچ باگاس نیشکر Sugarcane bagasse mulch	1.77a	2.62c	0.86a	1.37a	6ab	4.33b
مالچ باگاس نیشکر +۱ بار وجین Sugarcane bagasse + one time weeding	1.81a	3.48a	0.83ab	1.4a	6.3a	4.56a
LSD (5%)	0.11	0.34	0.13	0.11	0.46	0.17

* میانگین‌های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level



شکل ۱- مقایسه میانگین برهم‌کنش عامل‌های آزمایشی از نظر نیتروژن اندام هوایی لوبیای چشم بلبلی

Fig. 1- Comparison of the average interaction of experimental factors in terms of shoot nitrogen of cowpea

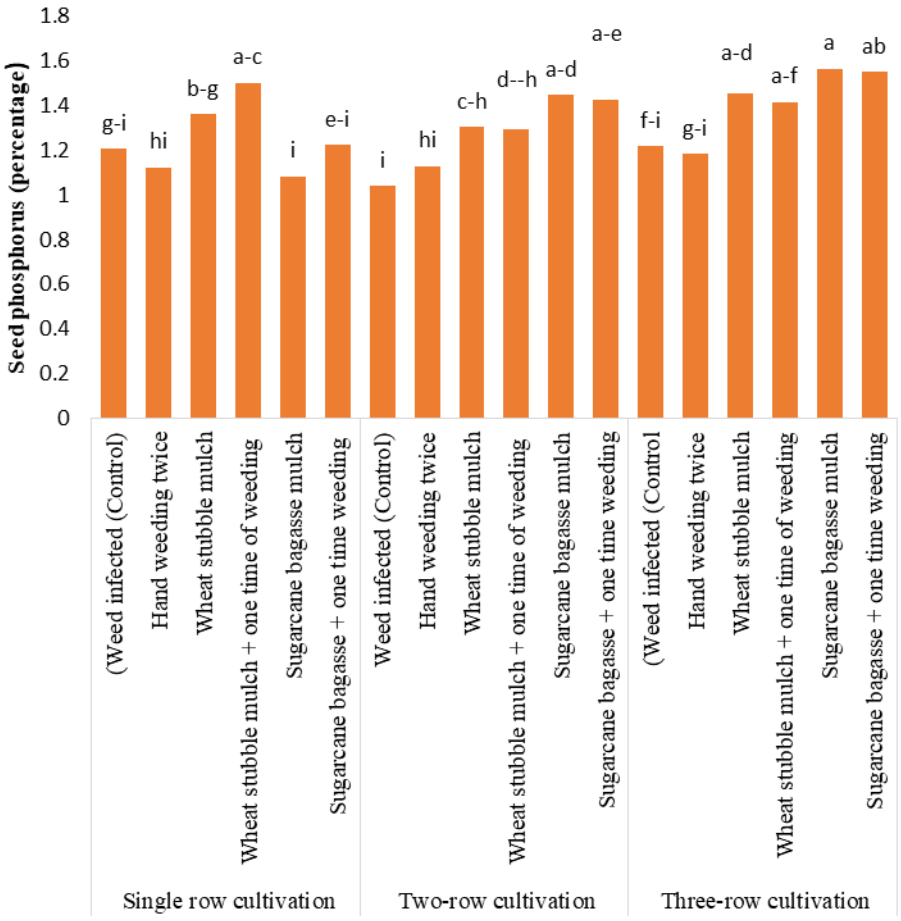
حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level.

تحقیقات نشان داده‌اند که کاربرد مالچ‌های آلی می‌تواند مقادیر عناصر غذایی خاک، از جمله نیتروژن، فسفر، و پتاسیم را افزایش دهد. این افزایش به‌دلیل تجزیه مالچ‌های آلی است که مواد مغذی و ماده آلی به خاک اضافه می‌کند و فعالیت ریزجانداران مفید نظیر باکتری‌های نیتریفیک‌کننده و قارچ‌های میکوریزا را تقویت می‌کند، درحالی‌که بیمارگرهای مضر که عامل بیماری‌های گیاهی هستند، مهار می‌شوند. این فرآیند به بهبود ساختار و زهکشی خاک، افزایش حفظ رطوبت، کاهش فشردگی خاک و جذب کرم‌های خاکی کمک می‌کند (Fang et al., 2011). در مطالعه‌ای درباره تأثیر مالچ‌های آلی بر ویژگی‌های خاک گزارش دادند که تیمارهای حاوی مالچ باگاس نیشکر، بیشترین مقدار فسفر موجود را داشتند. همچنین، مالچ باگاس نیشکر حاوی مقادیر بالای پتاسیم بود. این نتایج با اثرات مثبت مالچ‌ها هم‌راستا است(Rabbani et al., 2023).

درصد پتاسیم در دانه و اندام هوایی

براساس نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی، درصد پتاسیم اندام هوایی تحت تأثیر اثر اصلی آرایش کاشت در سطح پنج درصد و مدیریت غیرشیمیایی مهار علف‌های هرز در سطح یک درصد قرار گرفتند. همچنین اثر آرایش کاشت، مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز و برهم‌کنش آن‌ها در سطح یک درصد پتاسیم دانه لوبیا چشم بلبلی را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲).



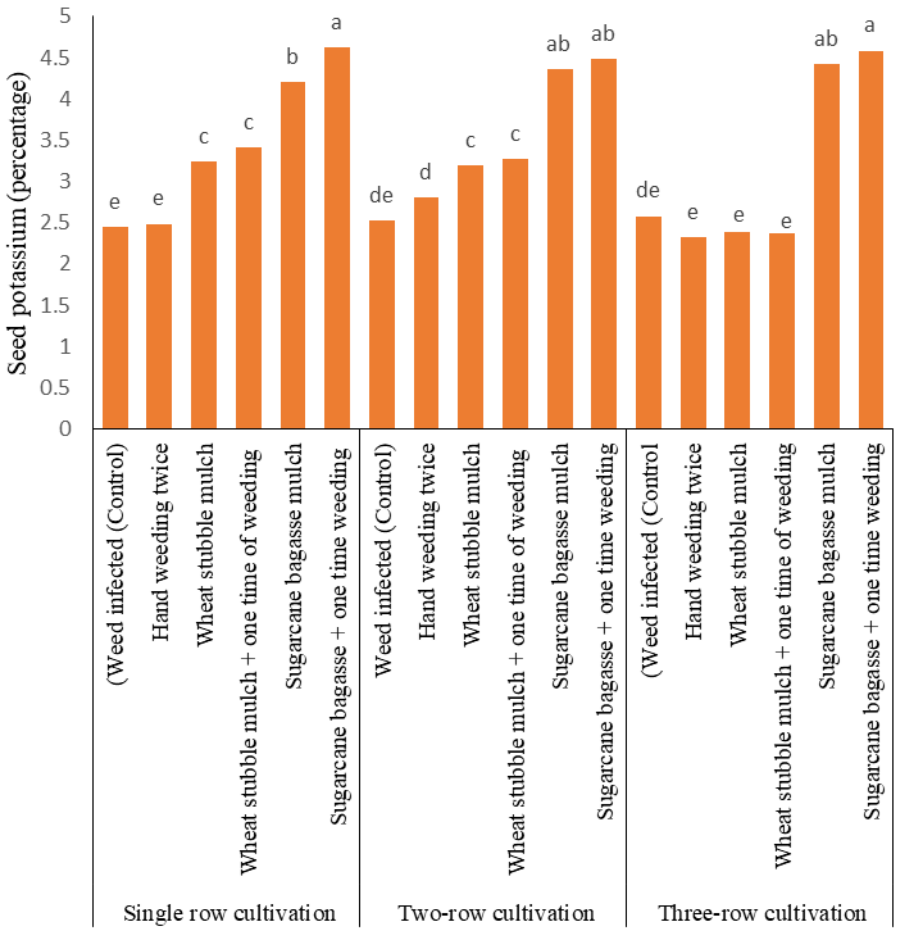
شکل ۲- مقایسه میانگین برهم‌کنش عامل‌های آزمایشی از نظر فسفر دانه لوبیا چشم بلبلی

Fig. 2- Comparison of the average interaction of experimental factors in terms of grain phosphorus of cowpea

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level.

براساس نتایج مقایسه میانگین، در بین الگوهای کشت، بیشترین درصد پتاسیم اندام هوایی مربوط به کشت دوردیفه با میانگین ۶/۱ درصد بود و برتری آماری معنی‌داری نسبت به دو الگوی کشت دیگر داشت. در مقابل، بین الگوهای کشت تک و سه‌ردیفه اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). در بین سطوح مختلف مدیریت غیرشیمیایی مهار علف‌های هرز مشخص شد که تیمارهای مالچ کلش گندم + یک مرتبه وجین، مالچ باگاس نیشکر و باگاس نیشکر +یک مرتبه وجین با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند، ولی نسبت به سایر سطوح تیماری برتری آماری معنی‌داری داشتند. کمترین میانگین درصد پتاسیم اندام هوایی مربوط به شاهد آلوده به علف‌هرز (عدم وجین) با میانگین پنج درصد بود (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش عامل‌های آزمایشی نشان داد که تیمار باگاس نیشکر + یک مرتبه وجین علف‌های هرز در الگوی کشت تک‌ردیفه (۴/۶ درصد)، تیمارهای مالچ باگاس نیشکر و باگاس نیشکر + یک مرتبه وجین علف‌های هرز در الگوی کشت دوردیفه (به‌ترتیب ۴/۴ و ۴/۵ درصد) و مالچ باگاس نیشکر و باگاس نیشکر + یک مرتبه وجین علف‌های هرز در الگوی کشت سه‌ردیفه (به‌ترتیب ۴/۴ و ۴/۶ درصد) با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند، ولی نسبت به سایر تیمارهای آزمایش برتری معنی‌داری داشتند (شکل ۳). به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که در الگوهای کشت مورد بررسی، کشت دوردیفه میانگین درصد پتاسیم بالاتری داشت که از دلایل آن می‌توان به رقابت درون‌گونه‌ای کمتر نسبت به الگوی کشت سه‌ردیفه و تک ردیفه نسبت داد. در واقع، در کشت تک‌ردیفه به‌دلیل حضور و رقابت علف‌های هرز با گیاه زراعی بر سر منابع غذایی و آب در دسترس (Sousa et al., 2017)، میزان عناصر غذایی در دسترس گیاه کاهش می‌یابد.



شکل ۳- مقایسه میانگین برهم‌کنش عامل‌های آزمایشی از نظر پتاسیم دانه لوبیا چشم بلبلی

Fig. 3- Comparison of the average interaction of experimental factors in terms of seed potassium of cowpea

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level.

همچنین در بین تیمارهای مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز مشاهده شد که محتوای پتاسیم دانه و اندام هوایی لوبیا چشم بلبلی در تیمارهای مالچ باگاس نیشکر و مالچ باگاس نیشکر + یک مرتبه وجین علف‌های هرز نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی بالاتر بود که از دلایل آن می‌توان به تأثیر مثبت مالچ باگاس نیشکر بر مهار علف‌های هرز و در نتیجه کاهش رقابت علف‌های هرز با لوبیا چشم بلبلی اشاره کرد. همچنین باگاس نیشکر می‌تواند عناصر غذایی را دسترس گیاه قرار دهد. در این راستا برخی محققین گزارش دادند که باگاس نیشکر می‌تواند به‌عنوان منبع بالقوه پتاسیم برای جذب گیاه مورد استفاده قرار گیرد(Nan et al., 2022).

وزن تر و وزن خشک علف‌های هرز

نتایج تجزیه واریانس صفت آزمایشی نشان داد که وزن تر علف‌های هرز تحت تأثیر آرایش کاشت، مدیریت غیرشیمیایی علف های هرز و برهم‌کنش آن‌ها در سطح یک درصد و صفت وزن خشک علف‌های هرز تحت تأثیر اثرات اصلی آرایش کاشت و مدیریت غیرشیمیایی علف‌های هرز در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۴). مهم‌ترین علف‌های هرز مزرعه شامل اویارسلام (*Cyperus* spp.)، کنجد وحشی (*Cleome viscosa* L.) و پیچک صحرایی (*Convolvulus arvensis* L.) بودند. جدول تجزیه واریانس نشان داد که صفت وزن تر و خشک علف هرز تحت تاثیر آرایش کشت و مدیریت تلفیقی علف‌های هرز در سطح یک درصد قرار گرفتند.

همچنین اثر متقابل تیمارها در سطح یک درصد برای صفت وزن تر علف‌های هرز معنی دار بود(جدول ۴). مقایسه میانگین برهم‌کنش عامل‌های آزمایشی از نظر صفت وزن تر علف‌های هرز نشان داد که بیشترین وزن تر علف‌های هرز مربوط به شاهد آلوده به علف‌های هرز و مالچ باگاس نیشکر در کشت تک‌ردیفه (به‌ترتیب با میانگین ۵۴/۷ و ۶۳ درصد) و شاهد آلوده به علف‌های هرز در کشت دوردیفه (۶۹/۳ درصد) بود که با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند، ولی نسبت به سایر تیمارهای آزمایش برتری معنی‌داری داشتند. کمترین میانگین وزن تر علف‌های هرز مربوط به تیمار مالچ باگاس نیشکر + یک مرتبه وجین علف‌های هرز در کشت سه‌ردیفه با میانگین ۵/۲ درصد بود (شکل ۴).

مقایسه میانگین وزن خشک علف‌های هرز نشان داد که در بین الگوهای کشت، کشت تک‌ردیفه با میانگین ۸/۹ گرم در مترمربع، بیشترین وزن خشک علف‌های هرز را داشت. در مقابل، کمترین میانگین وزن خشک علف‌های هرز مربوط به الگوی کشت سه‌ردیفه (۶/۳ درصد) بود (جدول ۵). در بین روش‌های مختلف مدیریت علف‌های هرز نیز مشاهده شد که بیشترین وزن خشک علف‌های هرز مربوط به شاهد آلوده به علف‌های هرز (۱۴/۳ گرم در مترمربع) بود که برتری آماری معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی داشت. در مقابل، کمترین وزن خشک علف‌های هرز مربوط به تیمارهای مالچ کلش گندم + یک مرتبه وجین و باگاس نیشکر + یک مرتبه وجین به‌ترتیب با میانگین ۵/۱ و ۳/۷ گرم در مترمربع بود (جدول ۵).

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش ردیف‌های کاشت، وزن تر و خشک علف‌های هرز کاهش معنی‌داری یافت که نشان می‌دهد که آرایش کاشت دو و سه‌ردیفه به‌دلیل سایه‌اندازی بیشتر باعث شده جمعیت علف هرز کاهش یابد. Farnham 2001) دریافت که در آرایش کاشت دوردیفه به‌علت جذب حداکثری تشعشع فعال فتوسنتزی در تاج‌پوشش ذرت، تداخل علف‌های هرز و وزن خشک علف‌های هرز کاهش می‌یابد. Tharp & Kells (2001) اظهار کردند که با کاهش فاصله بین ردیف در آرایش کاشت دوردیفه، مقدار تشعشع لازم برای جوانه‌زنی علف‌های هرز در زیر تاج‌پوشش ذرت کاهش می‌یابد و در نتیجه از تراکم علف‌های هرز کاسته می‌شود. همچنین مطالعات نشان داده است که استفاده از مالچ بقایای گیاهی به‌دلیل جلوگیری از عبور نور، در درجه اول از جوانه‌زنی بذور فتوبلاستیک ممانعت کرده و سپس فتوسنتزعلف‌های هرز جوانه‌زده را مختل می‌کند (Gibson et al., 2011). نتایج مطالعات هم‌راستا نشان داد که با افزایش تراکم کاشت و کاهش فاصله بین ردیف‌ها، وزن تر و خشک علف‌های هرز کاهش معنی‌داری یافت.

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) وزن تر و خشک علف‌های هرز تحت تأثیر سطوح آرایش کاشت و مدیریت غیرشیمیایی علف های هرز در مزرعه لوبیا چشم بلبلی

Table 4- Analysis of variance (mean squares) of weed fresh and dry weight under different planting arrangements and non-chemical weed control methods of cowpea

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	
		وزن تر علف‌های هرز Weed fresh weight	وزن خشک علف‌های هرز Weed dry weight
تکرار Block	2	100	2.40
آرایش کاشت Planting arrangement	2	1124**	32.6**
مدیریت تلفیقی علف‌های هرز Integrated management of weed control	5	1572**	131**
اثر متقابل آرایش کشت و مدیریت تلفیقی علف‌های هرز Planting arrangement × integrated management of weed control	10	444**	3.76ns
خطا Error	34	79.1	3.15
CV	-	24.9	23.3

** و *: به‌ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک و پنج درصد و ns:عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

ns ,* and **: are non-significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر آرایش کاشت، مدیریت غیرشیمیایی علف هرز بر وزن تر و خشک علف هرز لوبیا چشم بلبلی

Table 5- Mean comparison of the average effect of planting arrangement, integrated weed management on wet and dry weed weight of cowpea

	وزن تر علف‌های هرز (گرم در مترمربع) Weed fresh weight ($g.m^{-2}$)	وزن خشک علف‌های هرز (گرم در مترمربع) Weed dry weight ($g.m^{-2}$)
آرایش کشت Planting arrangement		
کشت تک ردیفه Single row cultivation	38.87a	8.9a
کشت دو ردیفه Two rows cultivation	31.52ab	7.6b
کشت سه ردیفه Three rows cultivation	23.07b	6.3c
LSD (5%)	8.5	1.2
مدیریت غیرشیمیایی مهار علف‌های هرز Integrated management of weed control		
شاهد آلوده به علف هرز Weed infested	52.1a	14.3a
دوبار وجین Twice weeding	21.5c	5.6 c
مالچ کاه و کلش گندم Wheat stubble mulch	37.2b	7.9b
مالچ کاه و کلش گندم+ یک بار وجین Wheat stubble mulch + once weeding	24.8c	5.1 cd
مالچ باگاس نیشکر Sugarcane bagasse mulch	35.7bc	9 b
مالچ باگاس نیشکر+ یک بار وجین Sugarcane bagasse + once weeding	15.6 c	3.7d
LSD (5%)	12.1	1.7

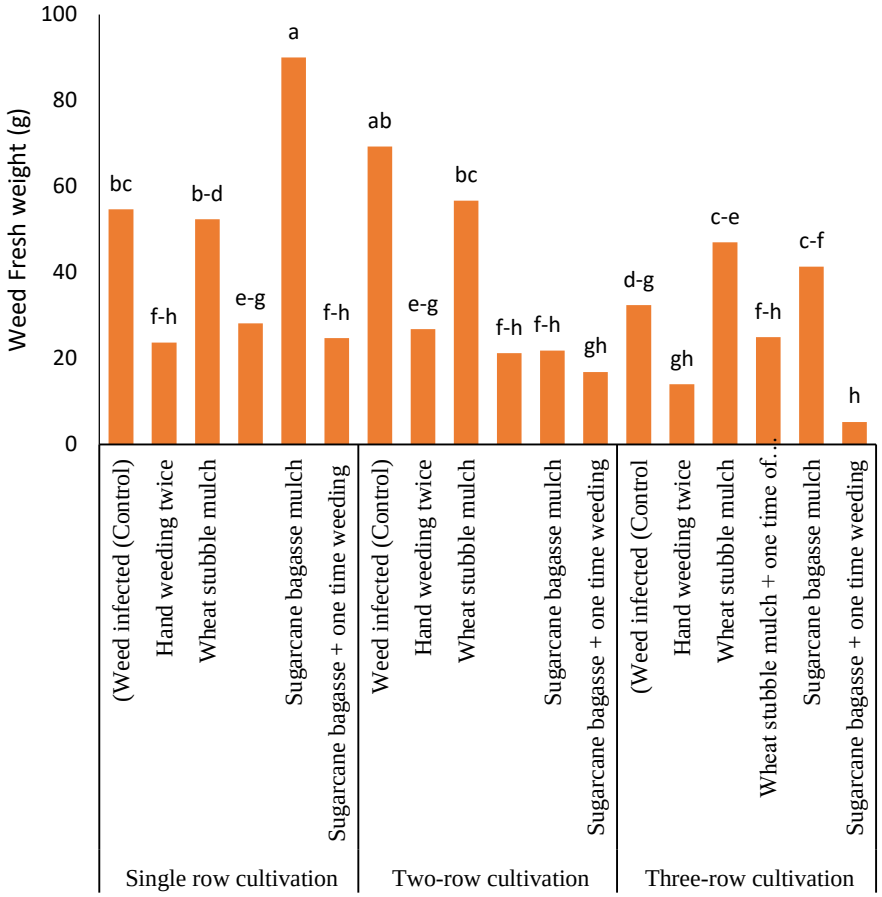
* میانگین‌های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level

این نتایج نشان می‌دهد که آرایش کاشت دو و سه‌ردیفه به‌دلیل سایه‌اندازی بیشتر باعث شده جمعیت علف هرز کاهش یابد. در واقع، توان رقابتی گیاه زراعی هنگامی‌که با علف‌های هرز به‌صورت همزمان سبز شوند، در الگوی کاشت دو و سه‌ردیفه بیشتر از الگوی کاشت تک‌ردیفه می‌باشد (Braz et al., 2019).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش به‌طور کلی بیانگر وجود اختلافات معنی‌دار بین الگوهای مختلف کشت از نظر صفات نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دانه لوبیا چشم بلبلی بود. در این پژوهش مشخص شد که صفات درصد نیتروژن اندام هوایی و دانه و درصد فسفر اندام هوایی تحت تأثیر الگوی کشت قرار نگرفتند، امّا درصد فسفر دانه در الگوی کشت سه‌ردیفه به بیشترین مقدار رسید. همچنین، از نظر درصد پتاسیم گیاه و اندام هوایی نیز در الگوی کشت دوردیفه بالاترین میانگین‌ها مشاهده شد. در بررسی روش‌های مدیریت غیرشیمیایی مهار علف‌های هرز مشاهده شد که استفاده از باگاس نیشکر به همراه یک مرتبه وجین علف‌های هرز، منجر به بیشترین درصد نیتروژن و پتاسیم اندام هوایی و دانه و همچنین درصد فسفر دانه شد. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت مالچ بقایای گیاهی، به‌ویژه باگاس نیشکر، در کاهش رقابت علف‌های هرز با لوبیا چشم بلبلی و افزایش دسترسی به عناصر غذایی می‌باشد. از نظر وزن تر و خشک علف‌های هرز، مشخص شد که در الگوی کشت تک‌ردیفه به‌دلیل فضای بیشتر بین بوته‌ها، وزن تر و خشک علف‌های هرز بالاتر از الگوهای دیگر بود. امّا با افزایش تراکم کشت در الگوی کشت سه‌ردیفه، کمترین وزن تر و خشک علف‌های هرز مشاهده شد.



شکل ٤- مقایسه میانگین برهم‌کنش عامل‌های آزمایشی از نظر وزن تر علف‌های هرز لوبیا چشم بلبلی

Fig. 4- Comparison of the average interaction of the experimental factors in terms of weed weight of cowpea

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level.

همچنین، در بین روش‌های مدیریت مهار علف‌های هرز، تیمار باگاس نیشکر به همراه یک مرتبه وجین، به‌دلیل تأثیر مثبت در کاهش جمعیت علف‌های هرز، کمترین وزن تر و خشک علف‌های هرز را داشت. با توجه به مخاطرات زیست‌محیطی علف‌کش‌های شیمیایی، استفاده از روش‌های مدیریت غیرشیمیایی مهار علف‌های هرز بسیار حائز اهمیت است. این پژوهش نشان داد که کاربرد تیمار باگاس نیشکر به همراه یک مرتبه وجین، توانست به‌خوبی جمعیت علف‌های هرز را مهار کند و از طریق کاهش رقابت علف‌های هرز با لوبیا چشم بلبلی و همچنین آزادسازی عناصر غذایی از بقایای گیاهی، باعث افزایش وزن خشک دانه لوبیا چشم بلبلی شود. باگاس نیشکر که محصول فرعی مزارع نیشکر است و سالانه حدود دو میلیون تن تولید می‌شود، به‌عنوان یک کمپوست مغذی می‌تواند در راستای بازیافت مواد و استفاده بهینه از نهاده‌ها و کشاورزی پایدار و زیستی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که در آزمایشات آینده، میزان گره‌زایی و تثبیت نیتروژن نیز بررسی شود تا به درک بهتری از تأثیر این روش‌ها در افزایش بهره‌وری و پایداری سیستم‌های کشاورزی دست یافت.

References

1. Braz, G.B.P., Machado, F.G., do Carmo, E.L., Rocha, A.G.C., Simon, G.A., & Ferreira, C.J.B. (2019).

Desempenho agronômico e supressão de plantas daninhas no sorgo em semeadura adensada. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, *18*(2), 170–177. https://doi.org/10.5965/223811711812019170

2. Behgam, M., Amini, R., & Dabagh Mohammadi Nasab, A. (2019). Integrated application of mulch and reduced doses of imazethapyr for weed management in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Weed Science of Iran*, 15(1), 109–124. https://doi.org/ 10.22092/IJWS.2019.1501.08 (In Persian with English abstract)
3. Birla, D., Pandey, I.B., Singh, D., Ranjan, P., Solanki, K., & Sandeep, S.N. (2023). Effect of tillage and weed management practices on dry matter, yield and nutrient uptake by plant and depletion by weed in lentil crop (*Lens culinaris* M.). *International Journal of Environment and Climate Change*, *13*(9), 288–298. https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i92231
4. Fang, S., Xie, B., Liu, D., & Liu, J. (2011). Effects of mulching materials on nitrogen mineralization, nitrogen availability and poplar growth on degraded agricultural soil. *New Forests*, *41*(2), 147-162. https://doi.org/10.1007/s11056-010-9217-9
5. Farnham, D.E. (2001). Row spacing, plant density, and hybrid effects on corn grain yield and moisture. *Agronomy Journal*, *93*(5), 1049–1053. https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351049x
6. Fontes, J.R.A., Gonçalves, J.R.P., & de Morais, R.R. (2010). Tolerância do feijão-caupi ao herbicida oxadiazon. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, *40*(1), 110–115. https://doi.org/10.5216/pat.v40i1.6241
7. Freckleton, R.P., & Watkinson, A.R. (2001). Asymmetric competition between plant species. *Functional Ecology*, *15*, 615–623. https://doi.org/10.1046/j.0269-8463.2001.00558.x
8. Ghanbari Birgani, D., Zand, E., Bbarzegari, M., & Khoramiia, M. (2010). Effect of planting patterns and herbicides application on weed population, grain yield and water use efficiency in maize (*Zea mays* L. cv. KSC 704). *Iranian Journal of Crop Sciences*, *12*(1), 1-17. (In Persian with English abstract)
9. Gherekhloo, J., Rashedmohassel, M.H., Mahalati, M.N., Zand, E., Ghanbari, A., Osuna, M.D., & de Prado, R. (2011). Confirmed resistance to aryloxyphenoxypropionate herbicides in *Phalaris minor* populations in Iran. *Weed Biology and Management*, *11*(1), 29–37. https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2011.00402.x
10. Gholamhosseini, M., Aghaalikhani, M., & Habibzadeh, F. (2015). Effect of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) interference on corn (*Zea mays* L.) yield quantity and quality under different irrigation and nitrogen levels .*Weed Research Journal*, *7*(2), 1-22. (In Persian).
11. Gibson, K.D., McMillan, J., Hallett, S.G., Jordan, T., & Weller, S.C. (2011). Effect of a living mulch on weed seed banks in tomato. *Weed Technology*, *25*(2), 245–251. https://doi.org/10.1614/WT-D-10-00101.1
12. Hamada, A.M., & El-Enany, A.E. (1994). Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum*, *36*, 75–81. https://doi.org/10.1007/BF02921273
13. Jackson, M.L. (1967). *Soil chemical analysis*. Prentice-Hall of India Private Limited. Pvt. Ltd., New Delhi, 498p.
14. Khan, M.A., Kakar, S., Marwat, K.B., & Khan, I.A. (2013). Differential response of *Zea mays* L. in relation to weed control and different macronutrient combinations. *Sains Malaysiana*, *42*, 1395-1401.
15. Mir, S. (2008). A rapid technique for determination of nitrate and nitric acid by acid reduction and diazotization at elevated temperature. *Analytica Chimica Acta*, *620*(1–2), 183–189. https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.05.038
16. Nan, X.U., Bhadha, J.H., Rabbany, A., Swanson, S., McCray, J.M., Li, Y., & Mylavarapu, R. (2022). Sugarcane bagasse amendment mitigates nutrient leaching from a mineral soil under tropical conditions. *Pedosphere*, *32*(6), 876–883. https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.06.020
17. Purcell, L.C., & King, C.A. (1996). Total nitrogen determination in plant material by persulfate digestion. *Agronomy Journal*, *88*(1), 111–115. https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800010023x
18. Rabbani, S., Ordukhani, K., Aref, F., Farmer, M., & Sharafzadeh, S. (2023). The effect of organic mulches on soil properties and vegetative characteristics of caper (*Capparis spinosa* L.) for planting in coastal pastures of southern Iran. *Marate Magazine*, *13*(2), 143–154.
19. Robles, M., Ciampitti, I.A., & Vyn, T.J. (2012). Responses of maize hybrids to twin-row spatial arrangement at multiple plant densities. *Agronomy Journal*, *104*(6), 1747–1756. https://doi.org/10.2134/agronj2012.0231
20. Sekhawat, R., Ghanbaribirgani, D., & Mirzashahi, K. (2018). Instructions for planting, growing, and harvesting cowpeas in Khuzestan. Publications of the Institute for Plant Breeding and Seed Production Research. 26 pp.
21. Sinchana, J.K., & Raj, L. (2020). Integrated weed management in bush type vegetable cowpea (V*igna*

unguiculata subsp. unguiculata (L.) Verdcourt). Doctoral Dissertation, College of Agriculture, Vellayani.

22. Soufizadeh, S., Zand, E., Baghestani, M.A., Kashani, F.B., Nezamabadi, N., & Sheibany, K. (2007). Integrated weed management in saffron (*Crocus sativus*). In II International Symposium on Saffron Biology and Technology, 739 (pp. 133-137). https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.739.17
23. Sousa, J. de P.F., Sousa, P.G.R., Silva, L.S., Alcântara, P.F., Costa, C.P.M., & Costa, R.N.T. (2017). Initial development of papaya under doses of vegetable ash and mulch in an organic system. *Brazilian Journal of Irrigated Agriculture*, *11*, 1804–1812.
24. Tharp, B.E., & Kells, J.J. (2001). Effect of glufosinate-resistant corn (*Zea mays*) population and row spacing on light interception, corn yield, and common lambsquarters (*Chenopodium album*) growth. *Weed Technology*, *15*(3), 413–418. https://doi.org/10.1614/0890-037X(2001)015 [0413: EOGRCZ]2.0.CO;2
25. Zhang, J., Wu, L.F., & Li, B.B. (2021). Weed responses to crop residues management in a summer maize cropland in the North China Plain. *Agriculture*, *11*(8), 46–60. https://doi.org/10.3390/agriculture11080746

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 3, 2025, p. 455-472

Evaluation of Yield, Yield Components and Advantage Indices of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk) and Peanut (*Arachis hypogaea* L.) in Additive Series Intercropping

Mehrangiz Jowkar Tang-Karami[1*], Javad Taei-Semiromi[1] and Nadia Bahremand[2]

1- Department of Agrotechnology, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran
2- Department of Horticulture, University of Jiroft, Jiroft, Iran
(*- Corresponding author's Email: mjowkar@nus.ac.ir; jokar2006@gmail.com)

Received: 15-06-2025
Revised: 07-09-2025
Accepted: 20-09-2025
Available Online: 26-11-2025

How to cite this article:
Jowkar Tang-Karami, M., Taei-Semiromi, J., & Bahremand, N. (2025). Evaluation of yield, yield components and advantage indices of isabgol (*Plantago ovata* Forsk) and peanut (*Arachis hypogaea* L.) in additive series intercropping. *Journal of Agroecology*, *17*(3), 455-472. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.94046.1243

Introduction

Intercropping is the cultivation of two or more crops in the same area at the same time, used as a practical approach to enhance the sustainability of agroecosystems. This cropping system is applied to increase resource productivity and decrease production risk. In an intercropping system, plants of the leguminous family, due to some specific characteristics as high protein contents and biological nitrogen fixation, are used as an important component of intercropping. This study was performed in order to investigate the yield and yield components of isabgol (*Plantago ovata* Forsk) and peanut (*Arachis hypogaea*) under intercropping system conditions and to evaluate indices of land equivalent ratio, productivity and intercropping advantage.

Materials and Methods

This study was conducted at Jiroft University to evaluate the benefits of intercropping peanut and plantain in the subtropical climate of southern Kerman province. The experiment was conducted in a randomized complete block design with eight treatments and three replications in the 2015-2016 crop year. The experimental treatments were: 1- single peanut crop, 2- single plantain crop, 3- 20% plantain + 100% peanut, 4- 30% plantain + 100% peanut, 5- 40% plantain + 100% peanut, 6- 50% plantain + 100% peanut, 7- 75% plantain + 100% peanut, 8- 100% plantain + 100% peanut. Before planting the test plants, the physical and chemical properties of the soil were evaluated. Peanut density was kept constant at 25 plants per square meter, and psyllium density was added incrementally between peanut rows based on experimental treatments. The traits and indices studied were psyllium yield and yield components, peanut yield and yield components, and intercropping utility indices. The data variance analysis was carried out using SAS 9.4 software and mean comparison using Duncan test in significant level 5% and to evaluate the linear relationships between the studied quantitative variables, the Pearson correlation coefficient was calculated using standard statistical procedures.

Authors retain the copyright.This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.94046.1243

Results and Discussion

Results showed that the number of shoot branches , pod weight, normal pods, biomass, seed dry weight per plant and grain yield were significantly (p<0.01) affected by the additive ratios of isabgol. The effect of these treatments on hollow pods and pod scurf was not significant. Increasing isabgol density ratio at intercropping caused a linear decrease (R^2>90) in the number of shoots, pod weight, normal pods, biomass, and seed dry weight per plant. It is considerable that observed differences in these variables between peanut sole cropping and its intercropping with 20% and 30% isabgol addition treatments were not significant. Analyses of isabgol yield and its components indicated that, increase in isabgol density caused a significant (p<0.01) decrease in seed per spicule of isabgol and spicule per plant, but had no significant effect on 1000 seed weight of isabgol, whereas additive treatments of isabgol caused an increase in seed yield and biomass of isabgol per surface unit. The highest yield of Isabgol (69.07 $g.m^{-2}$) was obtained under sole cropping, which showed no significant difference compared to the intercropping of 100% I + 100% P (67.63 $g.m^{-2}$). The lowest yield (55.33 $g.m^{-2}$) was recorded in the intercropping system of 20% I with 100% P. The highest productivity index (SPI=72.13) and intercropping advantage (IA=5.51) were obtained from the 100% peanut + 20% psyllium treatments.

Conclusion

Overall, considering the limited competitive ability of peanut at higher planting densities of isabgol, the cropping ratio of 20% psyllium + 100% peanut led to improvements in yield, yield components, and various indices of mixed cropping efficiency compared to sole cropping. Consequently, this treatment is recommended for tropical and subtropical conditions such as those found in Jiroft." Of course, this issue requires further studies.

Acknowledgements

This article is an extract from the final report of the research project 8-95-2828 approved by the Vice Chancellor for Research of Jiroft University. Therefore, thanks and appreciation are extended to Jiroft University for providing the costs of this project.

Keywords*:* Benefit, Biomass, Low-input cropping systems, Land use efficiency, System productivity index

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱٤۰٤، ص ٤۷۲-٤٥٥

ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های سودمندی اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.) و بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) در سیستم کشت مخلوط افزایشی

مهرانگیز جوکار تنگ کرمی[1*]، جواد طایی سمیرمی[1] و نادیا بهره مند[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کشت مخلوط افزایشی اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.) و بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد و شاخص‌های سودمندی، پژوهشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه پژوهشی دانشگاه جیرفت اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص بادام زمینی و اسفرزه و نسبت‌های افزایشی ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد اسفرزه به ۱۰۰ درصد بادام زمینی بودند. تراکم بادام زمینی و اسفرزه در کشت خالص به‌ترتیب ۲۵ و ۵۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. در کشت مخلوط تراکم بادام زمینی به‌صورت ثابت و معادل ۲۵۰ بوته در مترمربع و اسفرزه براساس تیمارهای آزمایش به‌صورت افزایشی بین ردیف‌های بادام زمینی اضافه گردید. صفات و شاخص‌های مورد بررسی عبارت بودند از عملکرد و اجزای عملکرد اسفرزه، عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی و شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط. نتایج نشان داد که صفات تعداد شاخه فرعی، تعداد پایک، وزن نیام‌ها، تعداد نیام نرمال و غیرنرمال، زیست‌توده، وزن خشک دانه در بوته و عملکرد دانه (مغز تازه) بادام زمینی در واحد سطح به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های افزایشی اسفرزه قرار گرفتند ($p\leq$ ۰/۰۱). اثر این نسبت‌های کشت بر درصد پوکی و درصد پوسته معنی‌دار نبود. افزایش نسبت تراکم اسفرزه در کشت مخلوط با بادام زمینی، صفات تعداد شاخه فرعی، تعداد نیام نرمال، وزن نیام‌ها، ماده خشک دانه در بوته، عملکرد مغز تازه (وزن خشک نیام‌ها) در واحد سطح و عملکرد زیست‌توده را به‌صورت خطی و معنی‌دار کاهش داد. میزان عملکرد دانه در کشت مخلوط ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی نسبت به کشت خالص ۲/۵، ۱۶/۵، ۲۲/۹، ۳۰/۵، ۴۰/۶ و ۴۷/۹ درصد کاهش یافت. افزایش تراکم اسفرزه در کشت مخلوط باعث کاهش معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) اجزای عملکرد و تعداد دانه در سنبله و افزایش معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) زیست‌توده و عملکرد دانه آن در واحد سطح شد، ولی بر وزن هزار دانه اسفرزه تأثیری نداشت. بالاترین میزان عملکرد اسفرزه (۶۹/۰۷ گرم در مترمربع) در کشت خالص که با ۱۰۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی (۶۷/۶۳ گرم در مترمربع) تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین آن (۵۵/۳۳ گرم در مترمربع) در کشت مخلوط ۲۰ درصد اسفرزه به ۱۰۰ درصد بادام زمینی به دست آمد. بیشترین میزان شاخص بهره‌وری سیستم (SPI= ۷۲/۱۳) و سودمندی کشت مخلوط (IA=۵/۵۱) از ترکیب ۲۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی به دست آمد. بنابراین با توجه به عدم توان رقابتی بادام زمینی در تراکم‌های بالاتر اسفرزه، نسبت کاشت ۲۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی باعث بهبود عملکرد، اجزاء عملکرد و شاخص‌های مختلف سودمندی کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی نسبت به کشت خالص گردید و بنابراین این تیمار در شرایط گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جیرفت توصیه می‌شود که البته این موضوع نیازمند مطالعات تکمیلی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زیست‌توده، سودمندی، شاخص بهره‌وری سیستم، کارآیی استفاده از زمین، نظام‌های زراعی کم نهاده

۱- گروه فناوری کشاورزی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران
۲- گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mjowkar@nus.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.94046.1243

مقدمه

کشت مخلوط به‌عنوان یکی از راهکارهای کلیدی در کشاورزی پایدار، به‌منظور افزایش بهره‌وری منابع خاک، بهبود کیفیت محصول و کاهش نیاز به ورودی‌های شیمیایی، توجه گسترده‌ای در تحقیقات کشاورزی حاضر یافته است (Zhao et al., 2024). این سیستم به‌ویژه در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری، با استفاده از ویژگی‌های مکمل گیاهان مختلف، توانسته است که عملکرد و کارآیی زیست‌محیطی را بهبود بخشد (Singh et al., 2023).

بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.)، گیاهی یک‌ساله و علفی به‌عنوان یک لگومینوز تثبیت‌کننده زیست‌شناختی نیتروژن، نقش مهمی در بهبود حاصلخیزی خاک و کاهش مصرف کودهای نیتروژنه ایفا می‌کند(Khamar et al., 2019)، همچنین محتوای بالای روغن و ترکیبات زیستی فعال آن، اهمیت اقتصادی و دارویی این گیاه را دوچندان کرده است (Chen et al., 2022). بادام زمینی با قابلیت تثبیت نیتروژن، منبعی پایدار برای تأمین نیتروژن در سیستم‌های کشت مخلوط محسوب می‌شود و موجب افزایش کارآیی استفاده از منابع خاک و آب و افزایش سودمندی و بهره‌وری کشت مخلوط می‌گردد (Zhou et al., 2025). به‌عنوان مثال، دهمرده و کشته‌گر (Dahmardeh & Keshtegar, 2014) در ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) در کشت مخلوط با بادام زمینی بیان کردند که بالاترین میزان نسبت برابری زمین، در سیستم کاشت ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام زمینی به دست آمد که این مسئله بیانگر سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است. در کشت مخلوط ارزن (*Panicum miliaceum* L.) و بادام زمینی بیان شد که بالاترین نسبت برابری زمین در مخلوط ۱۰۰ درصد ارزن + ۱۰۰ درصد بادام زمینی معادل ۱/۶۵ به دست آمد و دلیل آن تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط ریشه‌های گیاه بادام زمینی و افزایش جذب نور بوده است. همچنین مشخص شد که ارزن به‌عنوان گیاه غالب و بادام زمینی مغلوب بوده است (Khammar, 2013). ژو و همکاران (Zhou *et al.*, 2025) در کشت مخلوط ذرت و بادام زمینی بیان کردند که سیستم کشت مخلوط نواری[1] به‌طور قابل توجهی عملکرد ذرت را افزایش داده و در عین حال کاهش افت عملکرد بادام زمینی را تقلیل داده است، به‌طوری‌که عملکرد کل سیستم در مقایسه کشت خالص، ۲۳/۸۲ درصد بیشتر بوده است. کشت مخلوط نواری همچنین پایداری عملکرد قابل توجهی را در شرایط نامساعد آب‌وهوایی نشان داده است (نسبت معادل زمین > ۱).

گیاه اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.) گیاهی یک‌ساله و علفی متعلق به خانواده بارهنگ[2] می‌باشد که به‌دلیل ترکیبات فعال دارویی و فیبری بالا شناخته شده و از اهمیت ویژه‌ای در صنایع دارویی و غذایی برخوردار است (Rezaei-Chiyaneh et al., 2021). اگرچه رشد اولیه اسفرزه نسبتاً کند است، امّا پوشش سریع و مؤثر سطح خاک توسط این گیاه باعث کاهش رشد علف‌های هرز و حفظ رطوبت خاک می‌شود که این امر بهبود شرایط محیطی برای رشد بادام زمینی را فراهم می‌آورد (Asgharipour & Rafiei, 2010; Roozpeikar et al., 2020).

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که کشت مخلوط بادام زمینی با گیاهان زراعی مختلف مانند ذرت و ارزن، علاوه‌بر افزایش عملکرد کلی، باعث افزایش نسبت برابری زمین[3] (LER) و بهبود پایداری بوم‌نظام زراعی می‌شود (Dahmardeh & Keshtegar, 2014) که ناشی از تثبیت نیتروژن و بهبود استفاده از منابع محیطی است (Khammar, 2013; Zhou et al., 2025)؛ بااین‌حال، تحقیقات محدود در خصوص کشت مخلوط بادام زمینی و اسفرزه، نیازمند تحقیقات بیشتر به‌منظور تعیین ترکیب بهینه و مدیریت صحیح این سیستم‌ها می‌باشد.

در ارتباط با کشت مخلوط گیاهان دارویی جهت افزایش عملکرد و کیفیت آن‌ها تحقیقات اندکی انجام شده است. به‌عنوان مثال، اصغری پور و رفیعی (Asgharipour & Rafiei, 2010) در کشت مخلوط اسفرزه و عدس بیان کرد که کشت مخلوط باعث افزایش غلظت نیتروژن در اسفرزه شد. موسی پور و همکاران (Mosapour et al., 2015) در بررسی اثر زمان کاشت بر عملکرد و شاخص‌های سودمندی و رقابتی در کشت مخلوط اسفرزه و زنیان (*Carum copticum* L.) گزارش نمودند که حداکثر عملکرد مجموع دو گونه برای دانه (۲۳۶۳ کیلوگرم در هکتار)، کارآیی استفاده از زمین (LER=۱/۵۳)، شاخص بهره‌وری سیستم (SPI=۱۰۲۳۷) از ترکیب

1-Strip Intercropping

2- Plantagaceae
3- Land Equivalent Ratio

۵۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد زنیان به دست آمد. گیاه زنیان در تیمار ۲۵ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد زنیان به‌عنوان گیاه غالب دارای بالاترین ضریب ازدحامی (A=۰/۵۴) و غالبیت (K= ۲/۳۸) بود. روزپیکر و همکاران (Roozpeikar et al., 2020) در سیستم کشت مخلوط افزایشی اسفرزه و زوفا نتیجه گرفتند که حداکثر نسبت برابری زمین (۱/۴۱) و شاخص بهره‌وری (۲۱۹۹۸) در تیمار ۱۰۰ درصد زوفا + ۸۰ درصد اسفرزه به دست آمد.

با توجه به اینکه گیاه بادام زمینی دارای رشد اولیه کند بوده و آشیان اکولوژیک در اوایل دوره رشد آن خالی می‌ماند، بنابراین جهت افزایش بهره‌وری از زمین و پرنمودن آشیان‌های اکولوژیک موجود، استفاده از الگوی کشت مخلوط با گیاه دیگری که دارای رشد اولیه سریع‌تر بوده و روی گیاه بادام زمینی سایه‌اندازی نکند، می‌تواند راهکاری جهت استفاده بیشتر و بهبود بهره‌وری از منابع اکولوژیک در بوم‌نظام کشاورزی باشد. به نظر می‌رسد گیاهی نظیر اسفرزه که دارای استقرار اولیه سریع‌تر، دوره رشد کوتاه و مزیت صنعتی و دارویی است، می‌تواند به‌صورت مخلوط با بادام زمینی کشت شود (Asgharipour & Rafiei, 2010). بنابراین این پژوهش با هدف بررسی کشت مخلوط اسفرزه با بادام زمینی و اثر آن بر عملکرد و اجزای عملکرد و شاخص‌های سودمندی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت، واقع در کیلومتر هشت جاده جیرفت- بندرعباس با عرض جغرافیایی ´۲۸ و °۳۷ شمالی، طول جغرافیایی ´۵۷ و °۴۱ شرقی و با ارتفاع ۶۷۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل۱- تک کشتی بادام زمینی، ۲- تک کشتی اسفرزه، ۳- ۲۰ درصد اسفرزه +۱۰۰ درصد بادام زمینی، ۳۰ درصد اسفرزه+۱۰۰ درصد بادام زمینی، ۴۰ درصد اسفرزه+۱۰۰ درصد بادام زمینی، ۵۰ درصد اسفرزه+ ۱۰۰ درصد بادام زمینی، ۷۵ درصد اسفرزه ۱۰۰ درصد بادام زمینی و ۱۰۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی بود. قبل از اجرای آزمایش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ارزیابی شد (جدول ۱).

سپس، زمین مورد اجرای آزمایش شخم، تسطیح و برای انجام عملیات آزمایش آماده شد. هر کرت آزمایشی دارای چهار خط کاشت دو متری با فاصله ۴۰ سانتی‌متر بین ردیف‌های بادام زمینی و فاصله ۱۰ سانتی‌متر بین دو بوته روی خطوط کاشت در کشت خالص و مخلوط بود (Khammar et al., 2019; Keshtegar et al., 2015).

برای اسفرزه در کشت خالص فاصله بوته‌ها بین ردیف ۴۰ و روی ردیف ۵ سانتی‌متر (Mousapour et al., 2016) و در مخلوط فاصله بوته‌ها روی ردیف به‌ترتیب ۲۵، ۱۶/۵، ۱۲/۵، ۱۰، ۶/۵ و ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری با استفاده از سیستم قطره‌ای و براساس نیاز آبی دو گیاه انجام گرفت. تمامی عملیات داشت شامل آبیاری، واکاری، تنک و اضافه کردن کود سرک در طی دوره رشد انجام شد. با توجه به عدم همزمانی رسیدگی دو گیاه، ابتدا در اواخر خرداد ماه برداشت دانه اسفرزه در دو مرحله انجام گردید و اجزای عملکرد آن شامل وزن هزاردانه، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله با انتخاب ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی از هر کرت و عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه در مترمربع اسفرزه پس از حذف ۰/۵ متر اثر حاشیه‌ای از طرفین و از دو ردیف میانی اندازه‌گیری شد. در اواسط شهریور ماه نیز عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی در مرحله رسیدگی اندازه‌گیری گردید. رطوبت دانه‌ها موقع برداشت بین ۲۵ تا ۳۰ درصد بود. صفات مورد بررسی بادام زمینی شامل تعداد نیام نرمال، تعداد نیام غیرنرمال (براساس شکل ظاهری آن‌ها که خیلی کوچک بودند یا انحنا و شکل غیرطبیعی داشتند، تفکیک شدند)، وزن خشک دانه در بوته (زمان اندازه‌گیری رطوبت دانه‌ها حدود ۱۵ درصد بود)، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد پایک در بوته و وزن نیام‌ها در بوته، با انتخاب پنج بوته به‌طور تصادفی از هر کرت و میزان زیست‌توده و عملکرد دانه پس از حذف اثر حاشیه‌ای از طرفین هر کرت و از دو ردیف میانی انجام گردید (سطح برداشت‌شده برابر با ۸۰ سانتی‌مترمربع بود).

به‌منظور ارزیابی عملکرد دو گیاه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، شاخص سودمندی (IA)[1] و شاخص بهره‌وری سیستم (SPI)[2] با استفاده از معادله‌های ۱ نعمت اللهی و همکاران (Neamatollahi et al., 2013) و ۲ مائو و همکاران (Mao et al., 2012) محاسبه شدند.

معادله (۱) $IA= (Pa/Pa+Pb)\times AYLa+(Pb/Pa+Pb)\times AYLa$

که در آن، Pa: قیمت هر واحد محصول بادام زمینی و Pb: قیمت هر واحد محصول اسفرزه است

1- Intercropping advantage (IA)
2- System productivity index (SPI)

با توجه به اینکه شاخص اقتصادی سودمندی با توجه به قیمت هر واحد محصول محاسبه می‌شود، قیمت هر واحد بادام زمینی ۴۰۰۰۰ ریال و هر واحد اسفرزه ۲۰۰۰۰ ریال در نظر گرفته شد (هر واحد معادل ۱۰۰ گرم بذر گیاهان در سال اجرای آزمایش در نظر گرفته شد).

معادله (۲) $SPI= (Yii /Yjj) \times (Yij + Yji)$

که در آن‌ها: Yij: عملکرد گیاه i در کشت مخلوط، Yii: عملکرد گیاه i در کشت خالص، Yjiها: عملکرد گیاه j در کشت مخلوط و Yjj: عملکرد گیاه j در کشت خالص می‌باشد.

در نهایت، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام شد. برای محاسبه ضریب همبستگی نیز از روش پیرسون استفاده گردید.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی

بررسی اثر نسبت‌های افزایشی اسفرزه در کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی بر عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی نشان داد که صفات تعداد شاخه فرعی، تعداد پایک، وزن نیام‌ها، تعداد نیام نرمال و غیرنرمال، زیست‌توده، وزن خشک مغز دانه و عملکرد دانه در واحد سطح به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های افزایشی اسفرزه قرار گرفتند ($p\leq$۰/۰۱). اثر این نسبت‌های کشت بر درصد پوکی و درصد پوسته معنی‌دار نبود (جدول ۲).

تعداد شاخه فرعی

تعداد شاخه‌های فرعی بادام زمینی به‌طور معنی‌داری ($p<0.01$) تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی قرار گرفتند (جدول ۲). افزایش تراکم ۳۰ درصد اسفرزه و مقادیر بیشتر از آن به این نظام کشت مخلوط باعث کاهش معنی‌دار ($p<0.05$) تعداد شاخه‌های فرعی شد. همچنین از لحاظ این صفت، تیمار افزایشی ۲۰ درصد اسفرزه تفاوت معنی‌داری با کشت خالص بادام زمینی نداشت (جدول ۲). تعداد شاخه‌های فرعی تحت تأثیر افزایش تراکم اسفرزه کاهش یافت (جدول ۳). بیشترین تعداد شاخه فرعی (۸/۵ در بوته) در شرایط کشت خالص و کمترین تعداد این صفت در شرایط ۱۰۰ درصد تراکم اسفرزه (۳/۵) مشاهده شد. هر چه بر تراکم اسفرزه در کشت مخلوط با بادام زمینی افزوده شد، تعداد شاخه فرعی بادام زمینی کاهش یافت، به‌طوری‌که میزان این صفت در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی حدود ۵۷/۹ درصد نسبت به کشت خالص بادام زمینی کاهش نشان داد. با افزایش تراکم اسفرزه، به‌دلیل رقابت بین گونه‌ای بر سر منابع محیطی مانند نور، آب و عناصر غذایی، بادام‌زمینی قادر به افزایش شاخه‌زایی نبوده و این صفت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Li et al., 2019 ; Agegnehu et al., 2006).

تعداد پایک

در هر یک از سه گروه تیماری نسبت‌های کشت ۳۰ و ۴۰ درصد، ۵۰ و ۷۵ درصد، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیز تفاوت معنی‌داری از لحاظ تعداد پایک با یکدیگر مشاهده نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین تعداد پایک در بوته نشان داد که با افزایش نسبت اسفرزه در کشت مخلوط، تعداد پایک به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت (جدول۳). بیشترین تعداد پایک در کشت خالص بادام زمینی با میزان ۷۶/۸ در بوته و کمترین آن در تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی به‌میزان ۲۶/۵ در بوته مشاهده شد که نسبت به کشت خالص بادام زمینی ۶۵/۵ درصد کاهش یافت. این کاهش می‌تواند ناشی از کاهش انرژی اختصاص‌یافته به اندام‌های زایشی در شرایط رقابت شدید باشد (Zhang et al., 2020).

وزن نیام‌ها

وزن نیام‌ها یکی از شاخص‌های مهم تشکیل‌دهنده اجزای عملکرد بادام زمینی است که در این آزمایش اندازه‌گیری شده است. منظور از وزن نیام نیز تمامی نیام‌ها از قبیل نیام نرمال، غیرنرمال و نیام‌های پر و پوک می‌باشد. وزن نیام‌ها به‌طور معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) تحت تأثیر کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی قرار گرفت (جدول۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد (جدول ۳) که افزایش ۲۰ و ۳۰ درصد اسفرزه اثر معنی‌داری بر وزن نیام در نظام کشت مخلوط بادام زمینی و اسفرزه نداشت، امّا افزایش نسبت‌های بیشتر از ۳۰ درصد اسفرزه در کشت مخلوط باعث کاهش معنی‌دار وزن نیام‌ها شد. البته نسبت‌های کشت ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد افزایش اسفرزه فاقد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر بودند. وزن نیام‌ها در تیمارهای مخلوط ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نسبت به کشت خالص بادام زمینی ۲/۲، ۸/۳، ۱۵/۵، ۲۲/۷ و ۲۲/۵ درصد کاهش نشان داد. به نظر می‌رسد که

افزایش بیش از ۳۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی باعث افزایش رقابت بین گونه‌ای و کاهش دسترسی به منابع برای پر شدن کامل نیام‌ها شده و وزن نیام‌ها را در این تیمارهای مخلوط کاهش داده است. نتایج تحقیقات دیگر نیز مؤید همین مطلب می‌باشد و کاهش وزن نیام‌های بادام زمینی را در اثر افزایش تراکم گیاهان همراه گزارش است (Ghosh, 2004).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک)

Table 1- Soil physical and chemical characteristics of experimen site 0-30 cm depth

بافت Texture	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	شاخص واکنش pH	ماده آلی Organic materials (%)	فسفر قابل جذب Available P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب Available K ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total N (%)
لوم-شنی Loam-sand	1.0	7.92	0.47	0.30	0.07	0.023

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی

Table 1- Analysis of variance of intercropping different ratios on yield and yield components of peanut plant

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد شاخه فرعی Branche No.	تعداد نیام نرمال Normal pod No.	تعداد نیام غیرنرمال Abnormal pod No.	وزن نیام Pod weight	تعداد پایک Pike No.	درصد پوکی Hollowness percentage	درصد پوسته Shell percentage	زیست‌توده Biomass	وزن خشک دانه (مغز) Kernel dry weight	عملکرد مغز تازه Seed yield
تکرار Replicate	2	1.5	7.01	3.85	4.80	17.3	21.2	5.6	6450	4.53	17713*
نسبت کشت مخلوط Intercropping ratio	6	8.17**	10.04**	27.9**	52.6**	112**	35.3^{ns}	14.6 ^{ns}	130620**	9.49**	37091**
خطا Error	12	0.75	1.55	3.82	3.16	12.9	95.6	12.5	2926	0.207	17713
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.3	4.3	16.5	8.2	12.5	13.4	11.5	5.7	3.66	6.5

**، * و ns: به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن را نشان می‌دهد.

**, * and ns: indicate respectively a significant difference at the probability level of 1%, 5% and no significant difference based on the Duncan test.

تعداد نیام‌های نرمال

تعداد نیام‌های نرمال در بوته نیز به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی قرار گرفتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد که تعداد نیام نرمال در تیمارهای افزایشی ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد اسفرزه نسبت به کشت خالص بادام زمینی فاقد اختلاف معنی‌دار بوده و فقط نسبت‌های افزایشی ۷۵ و ۱۰۰ درصد باعث کاهش معنی‌دار این متغیر شده است. در این تیمارها به‌ترتیب ۱۴/۲۸ و ۲۴/۴۹ درصد کاهش معنی‌دار تعداد نیام نرمال نسبت به کشت خالص مشاهده شد. براساس این نتایج، افزایش تراکم اسفرزه در سطح بیش از ۵۰ درصد منجر به کاهش تعداد نیام نرمال شده است و این به‌خاطر اثرات سوء رقابت اسفرزه با بادام زمینی می‌باشد که باعث کاهش اجزای عملکردی بادام زمینی شده است. در تحقیقی دیگر بیشترین تعداد غلاف در بوته در کشت خالص بادام زمینی مشاهده شد و بیشترین کاهش تعداد غلاف در بوته در کشت مخلوط در الگوهای کاشت ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام زمینی و ۱۰۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام زمینی به دست آمد (Dugassa et al., 2023). در بررسی ذرت و بادام زمینی گزارش شد که تعداد نیام در بوته در کشت خالص بیشتر از کشت مخلوط بود (Keshtegar et al., 2015) (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین اجزای عملکرد و عملکرد بادام زمینی تحت تأثیر کشت مخلوط این گیاه با اسفرزه

Table 3- Mean comparison of yield and yield components of peanut affected of intercropping with Isabgol

تیمارها Treatments	تعداد شاخه فرعی Branche No	تعداد نیام نرمال در بوته Normal pod No per plant	تعداد نیام غیرنرمال در بوته Abnormal pod per plant	وزن نیام‌ها Pod weight (gr)	تعداد پایک در بوته Pike No per plant	زیست‌توده Biomass ($g.m^{-2}$)	وزن خشک مغز دانه Kernel dry ($g.plant^{-1}$)	عملکرد مغز تازه Seed yield ($g.m^{-2}$)
کشت خالص بادام زمینی Sole crop of peanut	8.3a	24.5 a	7.1 c	40.5 a	76.8 a	979.1 a	9.79 a	612.3a
۱۰۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 100% I + 100% P	3.5 e	18.5 c	15.1 a	31.4 c	26.5 d	454.1 e	5.11 d	319.5d
۷۵٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 75% I + 100% P	4.3 de	21 b	12.6 ab	31.3 c	31.7cd	512.5 de	5.82 d	364.1d
۵۰٪ اسفرزه+ ۱۰۰٪ بادام زمینی 100% I + 100% P	5.5 cd	22.6 ab	12.4 ab	34.2 bc	37.2 c	566.6 d	6.81 c	425.9c
۴۰٪ االسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 100% I + 100% P	6.4 bc	22.4 ab	13.1 ab	37.1 b	43.7 b	670.8 c	7.56 bc	472.9bc
۳۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 100% I + 100% P	6.3 bc	22.3 ab	9.8 bc	39.6 ab	47.2 b	850 b	8.18 b	451.7 b
۲۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 100% I + 100% P	7.3 ab	22.5 ab	7.3 c	40.6 a	71 a	916.6 ab	9.56 a	597.9 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد با استفاده از آزمون دانکن می‌باشد.

The means with silimar letters based on the Duncan test had not differ significantly in the probability level of 5%.

تعداد نیام غیرنرمال

تعداد نیام‌های غیرنرمال نیز یکی از عوامل منفی در عملکرد بادام زمینی است، این متغیر به‌طور معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) تحت تأثیر کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی قرار گرفته است (جدول ۲). تعداد نیام غیرنرمال در کشت خالص بادام زمینی نسبت به تیمارهای ۲۰ و ۳۰ درصد افزایش تراکم اسفرزه اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول۳)، امّا این شاخص در تیمارهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۵ و ۱۰۰ درصد افزایش تراکم اسفرزه در بادام زمینی نسبت به کشت خالص بادام زمینی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. حداکثر تعداد نیام غیرمال ۱۵/۱ عدد در شرایط کشت مخلوط ۱۰۰ درصد افزایش تراکم اسفرزه در بادام زمینی مشاهده شد و کمترین آن در شرایط کشت خالص به دست آمد.

افزایش نیام‌های غیرنرمال می‌تواند ناشی از رقابت شدید بین گونه‌ای برای منابع محیطی مانند نور، آب و عناصر غذایی باشد که منجر به اختلال در لقاح، پر شدن ناقص نیام‌ها یا توقف رشد آن‌ها می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که در شرایط رقابت بالا، کیفیت اندام‌های زایشی گیاهان کاهش می‌یابد (Ghosh, 2004). همچنین زانگ و همکاران(Zhang et al. 2020) گزارش کردند که تراکم بالای گیاه همراه در کشت‌های مخلوط به‌ویژه در گونه‌هایی با نیاز نوری بالا مانند بادام‌زمینی می‌تواند باعث افزایش میوه‌های ناقص یا غیرنرمال در گیاه اصلی شود. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که انتخاب نسبت مناسب گیاهان در کشت مخلوط نه‌تنها بر کمیت بلکه بر کیفیت عملکرد نیز تأثیرگذار است. در شرایطی که تراکم اسفرزه بیش از ۳۰ درصد باشد، احتمال بروز نیام‌های غیرنرمال افزایش یافته و در نتیجه عملکرد مغز تازه بادام‌زمینی کاهش می‌یابد. بنابراین مدیریت دقیق تراکم گیاه همراه در نظام‌های کشت مخلوط برای حفظ کیفیت محصول ضروری است (Li *et al*., 2019).

میزان زیست‌توده

اثر کشت مخلوط بر میزان زیست‌توده بادام زمینی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۳) که میزان زیست‌توده در کشت خالص بادام زمینی نسبت به تیمارهای افزایش تراکم ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. پژوهش‌های دیگر نیز گزارش کردند که بیشترین میزان زیست‌توده مربوط به کشت خالص بادام زمینی بود (Pourkarami et al., 2023). اختلاف تیمار ۲۰ درصد افزایش تراکم اسفرزه نسبت به کشت مخلوط معنی‌دار نبود. افزایش تراکم اسفرزه باعث کاهش معنی‌دار زیست‌توده شد، به‌طوری‌که میزان این صفت در تیمارهای افزایشی ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی نسبت به کشت خالص بادام زمینی به‌میزان ۶/۴، ۱۳/۱۸، ۱۳/۴۸، ۴۲/۱۳، ۴۷/۶۵ و ۵۳/۶۲ درصد کاهش یافت. کاهش میزان زیست‌توده بادام زمینی در الگوهای کشت مخلوط نشان دهنده وجود رقابت بین گونه‌ای شدیدتر در کشت مخلوط نسبت به رقابت درون گونه‌ای بین بوته‌های بادام زمینی در کشت خالص می‌باشد و بیانگر غالب بودن اسفرزه نسبت به بادام زمینی در مخلوط است.

وزن خشک دانه

وزن خشک دانه در بوته به‌طور معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) تحت تأثیر کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی قرار گرفت (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد که میزان وزن خشک دانه در کشت خالص نسبت به تمام نسبت‌های کشت به‌جز تیمار افزایش تراکم ۲۰ درصد بادام زمینی اختلاف معنی‌داری نشان داد. این موضوع نشان می‌دهد که در تراکم‌های پایین اسفرزه، رقابت برون گونه‌ای کاهش یافته و شرایط مساعدتری برای رشد زایشی بادام زمینی فراهم شده است. وزن خشک دانه در تیمارهای افزایش تراکم اسفرزه در سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد، ۴۰ و ۵۰ درصد، ۳۰ و ۴۰ درصد، ۲۰ درصد و کشت خالص فاقد تفاوت معنی‌داری نسبت به یکدیگر هستند. افزایش تراکم اسفرزه در نظام کشت مخلوط بادام زمینی با اسفرزه باعث کاهش میزان وزن خشک دانه شد (جدول ۳). میزان این کاهش در تیمارهای مخلوط ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی به‌ترتیب ۲/۳، ۱۶/۴، ۲۲/۷، ۳۰/۴، ۴۰/۵ و ۴۷/۸ درصد نسبت به کشت خالص بادام زمینی بود.

در تیمارهای با تراکم بالاتر اسفرزه (۳۰ تا ۱۰۰ درصد)، کاهش وزن خشک دانه به‌صورت تدریجی و معنی‌دار مشاهده شد، به‌طوری‌که در تیمار ۱۰۰ درصد، این کاهش به ۴۷/۸ درصد نسبت به کشت خالص رسید. این کاهش می‌تواند ناشی از رقابت شدید برای منابع محیطی مانند نور، آب و عناصر غذایی باشد که منجر به محدود شدن فتوسنتز و تخصیص کمتر مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی می‌شود (Li et al., 2019).

عملکرد دانه بادام زمینی (مغز تازه)

کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی تأثیر معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) در سطح یک درصد آماری بر عملکرد دانه بادام زمینی در واحد سطح داشت (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که تیمار کشت مخلوط با تراکم ۲۰ درصد اسفرزه به‌صورت افزایشی اختلاف معنی‌دای با کشت خالص آن نداشت ، امّا سطوح افزایشی ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۷۵۰ و ۱۰۰ درصد اسفرزه در کشت مخلوط، میزان عملکرد مغز تازه بادام زمینی را در واحد سطح به‌طور معنی‌داری ($p\leq$ ۰/۰۱) کاهش داد.

بیشترین مقدار عملکرد دانه بادام زمینی در واحد سطح در شرایط کشت خالص و به‌میزان ۶۱۳/۱۴ گرم در مترمربع مشاهده گردید. کمترین میزان عملکرد نیز در شرایط کشت مخلوط بادام زمینی با ۱۰۰ درصد افزایش تراکم اسفرزه مشاهده شد (۳۱۹/۵ گرم در مترمربع). با افزایش میزان تراکم اسفرزه در کشت مخلوط بادام زمینی و اسفرزه، میزان عملکرد بادام زمینی کاهش یافت (جدول ۳)، به‌طوری‌که میزان عملکرد دانه در تیمارهای ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰درصد بادام زمینی به‌میزان ۲/۵، ۱۶/۵، ۲۲/۹، ۳۰/۵، ۴۰/۶ و ۴۷/۹ درصد نسبت به کشت خالص بادام زمینی کاهش یافت. این نتایج نشان‌دهنده رقابت شدید بین بوته‌های اسفرزه و بادام زمینی بر سر نور، آب و مواد غذایی است که با توجه به تراکم بالای گیاهی در کشت مخلوط افزایشی منطقی به نظر می‌رسد. در آزمایشی، حداکثر عملکرد اقتصادی بادام زمینی در کشت خالص بادام زمینی و حداقل عملکرد در الگوی کشت مخلوط ۵۰ درصد + ۱۰۰ درصد ذرت مشاهده شد (Dugassa et al., 2023).

بررسی همبستگی بین صفات بررسی‌شده نیز حاکی از همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد با تعداد شاخه فرعی، وزن نیام، نیام‌های نرمال، تعداد پایک و زیست‌توده است، امّا عملکرد با تعداد نیام غیرنرمال همبستگی منفی و معنی‌دار داشت (جدول ۴).

در این آزمایش، بادام زمینی با تراکم ثابت ۲۵ بوته در مترمربع کشت شده و اسفرزه با نسبت‌های متفاوت به آن اضافه شده است. در این شرایط طبق نتایج این پژوهش، بادام زمینی در نسبت کشت افزایشی بیش از ۲۰ و ۳۰ درصد دچار افت عملکرد و اجزای آن شده است. به نظر می‌رسد که گیاه بادام زمینی قابلیت تحمل پایینی نسبت به افزایش اسفرزه در تراکم‌های بالای اسفرزه دارد، از طرفی اسفرزه به‌دلیل قابلیت پنجه‌زنی و ایجاد سنبله‌های متعدد دارای انعطاف‌پذیری بالایی برای جبران عملکرد ناشی از کاهش تراکم دارد (Moosavi et al., 2012)، لذا تراکم ۲۰ و ۳۰ درصد اسفرزه تا حدی قابلیت جبران کاهش تراکم اسفرزه را فراهم آورده است. گیاه بادام زمینی نیز دارای رشد اولیه نسبتاً کندی است، لذا افزایش تراکم ۱۰۰ درصدی اسفرزه باعث ایجاد رقابت اندام‌های هوایی و محدودیت در زمان پایک‌زنی نیام‌های بادام زمینی در خاک شده است. گزارش شده است که عملکرد نیام بادام زمینی به‌شدت تحت تأثیر کشت مخلوط آن با غلاتی نظیر سورگم (*Sorghum bicolor* L.)، ارزن و ذرت قرار گرفته و این صفت به‌طور معنی‌داری کاهش یافته و این عامل باعث افت عملکرد بادام زمینی شده است (Ghosh et al., 2006). در پژوهشی دیگر، کشت مخلوط بادام زمینی و ذرت مورد مطالعه قرار گرفته است (Dahmardeh & Keshtegar, 2014) و غالبیت و برتری ذرت در تمام نسبت‌های افزایشی کشت مخلوط نسبت به بادام زمینی مشهود است. در تحقیقات دیگر نیز غالبیت و نقش ذرت را نسبت به بادام زمینی در افزایش راندمان استفاده از زمین در کشت مخلوط نشان دادند (Feng et al., 2021). همچنین در بررسی عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی در کشت مخلوط ردیفی سری جایگزینی با چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) به نتایج مشابهی دست یافتند و کاهش رشد و میزان اجزای عملکرد و مغلوبیت بادام زمینی را مشاهده کردند (Pourkarami et al., 2023).

بررسی عملکرد و اجزای عملکرد اسفرزه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که صفات تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته، زیست‌توده و عملکرد دانه اسفرزه به‌طور معنی‌داری ($p<0.01$) تحت تأثیر نسبت‌های افزایشی اسفرزه در کشت مخلوط با بادام زمینی قرار گرفت. کشت مخلوط تأثیر معنی‌داری بر وزن هزاردانه نداشت که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر عوامل ژنتیکی نسبت به عوامل تراکم است (جدول ۵).

بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد دانه در سنبله در تیمار کشت مخلوط ۲۰ درصد افزایش تراکم اسفرزه با بادام زمینی (۶۲/۵۳ دانه در سنبله) و کمترین آن در تیمار کشت خالص اسفرزه (۵۴/۹۳ دانه در سنبله) بود. میزان تعداد دانه در سنبله با کاهش نسبت اسفرزه در مخلوط با بادام زمینی افزایش یافت، به‌طوری که اختلاف مشاهده‌شده در کشت خالص اسفرزه نسبت به تیمارهای افزایش تراکم ۲۰، ۳۰ ، ۴۰ و ۵۰ درصد در کشت مخلوط معنی‌دار

بود. این افزایش در تیمارهای کشت مخلوط با تراکم پایین اسفرزه نشان‌دهنده کاهش رقابت درون گونه‌ای و بهبود شرایط زایشی گیاه است. مطالعات مشابه نیز نشان دادند که کاهش تراکم گیاه در کشت مخلوط می‌تواند موجب افزایش کیفیت اندام‌های زایشی شود (Ghosh, 2004; Li et al., 2019).

بررسی تعداد سنبله در بوته اسفرزه تحت تأثیر تیمارهای افزایشی اسفرزه در کشت مخلوط با بادام زمینی نشان داد که این صفت نیز با افزایش تراکم اسفرزه در مخلوط روند کاهشی داشت ، به‌طوری‌که در حالت کشت خالص با ۱۰۰ درصد تراکم به کمترین مقدار خود رسید (۱۰/۱۶ عدد). این روند کاهشی با افزایش تراکم اسفرزه در مخلوط، احتمالاً ناشی از رقابت شدید برای منابع محیطی و محدود شدن رشد رویشی گیاه است. اختلاف مشاهده‌شده بین تیمارهای ۲۰ و ۳۰ درصد افزایش تراکم اسفرزه، ۴۰، ۵۰ و ۷۵ درصد افزایش تراکم اسفرزه و همچنین تیمارهای کشت خالص و ۱۰۰ درصد افزایش تراکم معنی‌دار نبود، امّا اختلاف بین این سه گروه تیماری با یکدیگر در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار بود. اختلاف معنی‌دار بین گروه‌های تیماری مختلف در سطح آماری پنج درصد تأییدکننده تأثیر تراکم بر این صفت است. بیشترین تعداد سنبله در بوته نیز در تیمار افزایشی تراکم ۲۰ درصدی اسفرزه در مخلوط با بادام زمینی (۱۹/۳سنبله در بوته) مشاهده شد (جدول ۶) که نشان‌دهنده تعادل مناسب بین رقابت و بهره‌برداری از منابع محیطی است. مطالعات دیگر نیز تأیید می‌کنند که تراکم گیاه نقش مهمی در توسعه ساختارهای رویشی دارد. برای مثال، گاش Ghosh, 2004 () گزارش کرد که در کشت‌های مخلوط، کاهش تراکم گیاه همراه می‌تواند منجر به افزایش شاخص‌های رشدی در گیاه اصلی شود.

تغییرات میزان زیست‌توده یا ماده خشک تولیدشده در گیاه اسفرزه تحت تأثیر کشت مخلوط آن با بادام زمینی در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که کاهش تراکم اسفرزه در کشت مخلوط منجر به کاهش عملکرد زیست‌توده شد، به‌طوری‌که کمترین مقدار مشاهده‌شده این صفت (۲۵۱/۱ گرم در مترمربع) در تیمار ۲۰ درصد افزایش تراکم مشاهده گردید، البته اختلاف مشاهده‌شده بین تیمار با نسبت‌های افزایشی ۳۰ و ۴۰ درصد اسفرزه در کشت مخلوط معنی‌دار نبود، امّا نسبت به سطوح افزایشی بالاتر دارای اختلاف آماری در سطح آماری پنج درصد بود. تیمار کشت خالص اسفرزه نیز نسبت به سطوح ۲۰ درصد افزایش تراکم اسفرزه و سطوح بالاتر آن اختلاف معنی‌داری داشت. بیشترین میزان عملکرد زیست‌توده (۳۱۴/۱ گرم در مترمربع) مربوط به کشت خالص اسفرزه بود که با تیمار افزایشی ۱۰۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی تفاوت معنی‌داری نداشت. میزان عملکرد زیست‌توده در تیمار افزایشی ۲۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی به‌میزان ۲۰ درصد نسبت به کشت خالص کاهش نشان داد. گزارش شده است که بیشترین میزان عملکرد زیست‌توده در کشت مخلوط زوفا و اسفرزه مربوط به کشت خالص اسفرزه (۴۲۸۶ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن مربوط به کشت مخلوط ۲۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) (۲۴۶۷ کیلوگرم در هکتار) بود که با توجه به تراکم کمتر اسفرزه در این تیمار آزمایشی این نتیجه دور از انتظار به نظر نمی‌رسد (Roozpeikar et al., 2020).

بررسی اثر کشت مخلوط اسفرزه با بادام زمینی بر عملکرد دانه اسفرزه نشان داد (جدول ۶) که با کاهش تراکم اسفرزه در کشت مخلوط از میزان عملکرد دانه آن نیز کاسته شده است، به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد دانه اسفرزه در کشت خالص آن (۶۹/۰۷ گرم در مترمربع) مشاهده شد که با کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی تفاوت معنی‌داری نداشت (۶۷/۶۳ گرم در مترمربع). ا ین موضوع نشان می‌دهد که در تراکم‌های بالا، رقابت درون‌گونه‌ای کاهش یافته و اسفرزه توانست عملکرد مطلوبی را تولید کند. در مقابل، کمترین میزان عملکرد دانه در تیمار افزایشی ۲۰ درصد اسفرزه (۵۵/۳ گرم در مترمربع) مشاهده شد که این نتیجه با توجه به کاهش شدید تراکم اسفرزه در این تیمار دور از انتظار نیست. عملکرد دانه کشت خالص اسفرزه طبق نتایج ارائه‌شده در جدول ۶ در هر یک از سه گروه تیماری تفکیک‌شده، اختلاف مشاهده‌شده بین تیمار ۲۰ درصد افزایشی اسفرزه با تیمارهای ۳۰ و ۴۰ درصد افزایشی آن معنی‌دار نبود، امّا اختلاف این سطح افزایشی با سطوح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد افزایشی و کشت خالص اسفرزه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. به عبارت دیگر، اختلاف عملکرد در کشت خالص نسبت به سطوح ۷۵ درصد افزایش اسفرزه و سطوح کمتر از آن در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که عملکرد دانه اسفرزه در کشت مخلوط به‌شدت تحت تأثیر تراکم گیاه است و کاهش تراکم منجر به افت عملکرد می‌شود. مطالعات مشابه نیز این روند را تأیید کردند.

جدول ٤- همبستگی بین صفات اندازه‌گیری‌شده بادام زمینی در کشت مخلوط بادام زمینی و اسفرزه

Table 4- Correlation measured of peanut traits in intercropping

صفت Trait	تعداد شاخه فرعی Branche No	زیست-توده biomass	نیام نرمال تعداد Normal pod No	تعداد پایک Pike No	درصد پوکی Hollow pods	درصد پوسته Pod scurf	وزن خشک مغز دانه Kernel dry weight	عملکرد مغز تازه Seed yield	وزن نیام‌ها Pod weight	تعداد نیام غیرنرمال در بوته Abnormal pod No
تعداد شاخه فرعی Branche No.	1									
زیست‌توده Biomass	0.94**	1								
تعداد نیام نرمال Normal pod No.	0.86**	0.72*	1							
تعداد پایک Pike No.	0.94**	0.92**	0.71*	1						
درصد پوکی Hollow pods	-0.12	-0.31	0.23	-0.36	1					
درصد پوسته Pod scurf	0.31	0.53	-0.05	0.45	-0.60	1				
وزن خشک مغز Kernel dry weight	0.96**	0.98**	0.78*	0.96**	-0.26	0.48	1			
عملکرد مغز تازه Seed yield	0.95**	0.97**	0.75*	0.96**	-0.26	0.48	0.98**	1		
وزن نیام‌ها Pod weight	0.93**	0.97**	0.69*	0.89**	-0.21	0.55*	0.94**	0.96**	1	
تعداد نیام غیرنرمال Abnormal pod No.	-0.81**	-0.94**	-0.73*	-0.94**	0.36	-0.54	-0.94**	-0.94**	-0.86**	1

**، * و ns: به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن را نشان می‌دهد.

**, * and ns: indicate respectively a significant difference at the probability level of 1%, 5% and no significant difference based on the Duncan test.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد و اجزای عملکرد اسفرزه

Table 5- Analysis of variance of the effect of intrcropping different ratios on yield and yield components of isabgol

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد دانه در سنبله Seed number per spike	وزن هزار دانه 1000-seed weight	تعداد سنبله در بوته Spike number per plant	عملکرد زیست توده Biomass yield	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replicate	2	2.84	0.058	4.01	142.6	6.9
نسبت‌های کاشت Intercropping ratio	6	29.68*	0.011^{ns}	39.38**	1615.7**	78.2**
خطا Error	12	9.77	0.344	2.061	194.05	9.4
ضریب تغییرات CV%	-	21.2	19.8	13.05	8.2	15.3

**، * و ns: به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن را نشان می‌دهد.

**, * and ns: indicate respectively a significant difference at the probability level of 1%, 5% and no significant difference based on the Duncan test.

به‌عنوان مثال، در بررسی کشت مخلوط زنیان و اسفرزه گزارش شد که بیشترین عملکرد دانه اسفرزه از تیمار کشت خالص با میانگین ۵۳۹/۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد، درحالی‌که تیمارهای با تراکم پایین‌تر اسفرزه عملکرد کمتری داشتند. این نتایج نشان‌دهنده اهمیت حفظ تراکم مناسب گیاه در کشت‌های مخلوط برای دستیابی به عملکرد مطلوب است (Mousapour *et al*., 2017).

بررسی شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی

با توجه به جدول ۷، شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط و بهره‌وری سیستم به‌طور معنی‌داری ($p\leq0.05$) تحت تأثیر کشت مخلوط بادام زمینی و اسفرزه قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان سودمندی کشت مخلوط از تیمار ۲۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی به دست آمد (۵/۵۱) که با سایر تیمارهای کشت مخلوط تفاوت معنی‌داری نشان داد. این موضوع احتمالاً ناشی از استفاده بهتر از منابع محیطی در این تیمار می‌باشد. کمترین میزان این شاخص نیز مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی بود (۰/۲۸) که با تیمار ۷۵ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی (۰/۴۹) تفاوت معنی‌داری نداشت. احتمالاً دلیل آن رقابت بیشتر این دو گیاه در این تیمارها بوده است (جدول ۸). هر چه بر تراکم بوته اسفرزه در واحد سطح افزوده شد، شاخص سودمندی کشت مخلوط کاهش یافت. نتایج مشابهی در کشت مخلوط گندم و نخود گزارش شده است (Banik et al., 2006). در گزارش دیگری هیچ مزیت اقتصادی و سودمندی در کشت مخلوط ذرت و بادام زمینی در شرایط نیمه‌خشک و دیم نسبت به کشت خالص مشاهده نشد (Zhang et al., 2025). با توجه به تحقیقات انجام‌شده، کشت مخلوط زمانی سودمند است که عملکرد دانه مخلوط بیشتر از حداکثر محصول تک کشتی باشد .در این آزمایش، اضافه عملکرد دانه به‌دست‌آمده را می‌توان به استفاده بهتر دو گیاه از منابع محیطی و اختلاف در سیستم ریشه‌ای و همچنین نیازهای فیزیولوژیک و مورفولوژیک بین آن‌ها نسبت داد که با ایجاد پوشش گیاهی مناسب، از تبخیر آب خاک و رشد علف‌های هرز جلوگیری نموده و این موضوع منجر به افزایش راندمان تولید نیز گردید. در ارزیابی سودمندی اقتصادی و بهبود تولید و کارآیی ذرت و بادام زمینی گزارش شده که کشت مخلوط این دو گیاه نسبت به کشت خالص آن‌ها باعث افزایش عملکرد و مزیت اقتصادی گردید. بنابراین این نوع کشت مخلوط که سیستم کشت مخلوط غالب در چین می‌باشد، توصیه می‌گردد (Li *et al*., 2023). در بررسی شاخص‌های رشدی لوبیاقرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) و بادرشبی (*Dracocephalum moldavic*) در الگوهای مختلف کشت مخلوط بیان شد که کشت مخلوط بادرشبی با لوبیا سبب بهبود رشد این گیاه دارویی گردید و نسبت برابری زمین در الگوهای کشت مخلوط این گیاه دارویی با یکی از بقولات به‌دلیل تثبیت نیتروژن بیش از یک به دست آمد که از نظر اقتصادی و اکولوژیک سودمند بود (Bagheri et al., 2022).

جدول ٦- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد اسفرزه تحت تأثیر نسبت‌های مختلف افزایشی با بادام زمینی

Table 6- Mean comparison of yield and yield components of isabgol under the influence of different intercropping different ratios with peanut

تیمار Treatment	تعداد دانه در سنبله Seed numbers per spike	تعداد سنبله در بوته Spike number per plant	عملکرد زیست‌توده Biomass yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد دانه Seed yield ($g.m^{-2}$)
کشت خالص اسفرزه Sole crop of isabgol	54.93 c*	10.16 d	314.1 a	69.07 a
۱۰۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 100% I + 100% P	55.61 bc	10.47 d	307.4 a	67.63 a
۷۵٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 75% I + 100% P	56.61 abc	13.74 c	280.3 b	61.67 b
۵۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 50% I + 100% P	61.1 ab	15.1 c	278.8 b	61.33 b
۴۰٪ االسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 40% I + 100% P	61.66 ab	16.16 bc	271.2 bc	59.66 bc
۳۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 30% I + 100% P	61.15 ab	18.66 ab	259.1 bc	57.1 bc
۲۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 20% I + 100% P	62.52 a	19.33 a	251.5 c	55.33 c

* میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.

* The means with silimar letters based on the Duncan test had not differ significantly in the probability level of 5%

I=Isabgol; P=Peanut

جدول ۷- تجزیه واریانس ارزیابی شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط بادام زمینی و اسفرزه

Table7- Analysis of variance evaluation of advantage and competitive indices of peanut and isabgol intercropping

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	شاخص بهره‌وری سیستم System productivity index	سودمندی کشت مخلوط Intercropping advantage
تکرار Replicate	2	103.424	0.008
نسبت‌های کاشت Planting rate	5	345.248**	11.35**
خطا Error	10	9.261	0.027
ضریب تغییرات CV (%)	-	19.35	10.97

**، * و ns: به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن را نشان می‌دهد.

**, * and ns: indicate respectively a significant difference at the probability level of 1%, 5% and no significant difference based on the Duncan test.

شاخص دیگری که در نهایت کارآیی یک سیستم کشت مخلوط را نمایان می‌سازد، شاخص بهره‌وری سیستم (SPI) است که بالاتر بودن این شاخص نشانگر افزایش کارآیی سیستم مخلوط است.

بر این اساس مشاهده می‌شود که در تیمارهایی که در آن‌ها تراکم اسفرزه کمتر است، SPI بیشتری را دارا هستند. بیشترین میزان این شاخص (۷۲/۱۳) مربوط به تیمار ۲۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی بود. هر چه بر تراکم بوته اسفرزه در واحد سطح افزوده شد، شاخص سودمندی کشت مخلوط کاهش یافت، به‌طوری‌که کمترین آن مربوط به ۱۰۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی بود (۴۲/۶۸) که با تیمار ۷۵ درصد اسفرزه به بادام زمینی (۴۶/۹۷) تفاوت معنی‌داری نداشت. این امر به‌دلیل افزایش رقابت بین گونه‌ای نسبت به درون گونه‌ای است، به‌طوری‌که در این تحقیق، افزودن اسفرزه در تراکم‌های بیشتر به

بادام زمینی، میزان رقابت را بیشتر و کارآیی سیستم را نسبت به کشت خالص آن‌ها کاهش داده است. در این رابطه، محققانی در ارزیابی شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط افزایشی باقلا (*Vicia faba* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) به این نتیجه رسیدند که با افزایش تراکم باقلا در مخلوط با جو در نسبت ۳۷/۵: ۱۰۰(باقلا- جو) بیشترین میزان کارآیی براساس شاخص SPI به دست آمد (Agegnehu et al., 2006). در تحقیقی دیگر، گزارش شده است که بالاترین میزان شاخص سودمندی کشت مخلوط از ۸٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ زوفا به دست آمد (Rouzpeikar et al., 2020).

با توجه به نتایج آزمایش به نظر می‌رسد که کشت مخلوط در نسبت افزایشی ۲۰٪ اسفرزه به ۱۰۰٪ بادام زمینی، مبتنی بر اصل تولید حمایتی بوده و به عبارت دیگر اصل مساعدت در این تیمار وجود داشت ، امّا در سایر نسبت‌ها به‌دلیل رقابت اسفرزه با بادام زمینی (رقابت بین گونه‌ای بیشتر از درون گونه‌ای بوده است)، هیچ‌کدام از اصول کشت مخلوط حاکم نبوده و به عبارتی کشت خالص سودمندتر از مخلوط بوده است.

جدول ۸- مقایسه میانگین شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط

Table 8- Mean Comparison of advantage and competitive indices evaluation of intercropping

تیمار Treatment	شاخص بهره‌وری سیستم System Productivity Index	سودمندی کشت مخلوط Intercropping Advantage
۱۰۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 100% I + 100% P	42.68 d*	0.28 e
۷۵٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 75% I + 100% P	46.97 d	0.49 e
۵۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 50% I + 100% P	53.75 c	1.63 d
۴۰٪ االسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 40% I + 100% P	58.72 bc	2.26 c
۳۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 30% I + 100% P	62.63 b	3.23 b
۲۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 20% I + 100% P	72.13 a	5.51 a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند.

* The means with silimar letters based on the Duncan test had not differ significantly in the probability level of 5%.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که افزایش گیاه اسفرزه در کشت مخلوط با بادام زمینی، عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی را به‌طرز معنی‌دار تحت تأثیر قرار داده است، به‌طوری‌که با افزایش تراکم اسفرزه، تعداد شاخه فرعی، تعداد نیام نرمال، وزن نیام‌ها، ماده خشک دانه در بوته، عملکرد دانه در واحد سطح و عملکرد زیست‌توده بادام زمینی به‌صورت خطی و معنی‌دار کاهش نشان داد. افزایش تراکم اسفرزه در کشت مخلوط باعث افزایش معنی‌دار زیست‌توده و عملکرد دانه اسفرزه شد و از طرف دیگر منجر به کاهش اجزای عملکرد، تعداد دانه در سنبله و تعداد دانه در سنبله شد، ولی بر وزن هزار دانه تأثیری نداشت. محاسبه شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط نشان داد که بهترین نسبت کشت مخلوط جهت حداکثر استفاده از منابع محیطی و افزایش عملکرد در واحد سطح، نسبت کاشت ۲۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی برای منطقه اجرای آزمایش بود و بنابراین این ترکیب تیماری پیشنهاد می‌شود. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه کشت مخلوط می‌تواند مزایای اکولوژیک و اقتصادی داشته باشد، امّا انتخاب نسبت‌های مناسب گیاهان همراه و مدیریت دقیق تراکم‌ها نقش کلیدی در حفظ عملکرد کمّی گیاه اصلی دارد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از گزارش نهایی طرح پژوهشی ۸-۹۵-۲۸۲۸ مصوب معاونت پژوهشی دانشگاه جیرفت می‌باشد. لذا از دانشگاه جیرفت جهت تأمین هزینه‌های این طرح تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Agegnehu, G., Ghizaw, A., & Sinebo, W. (2006). Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy*, *25*(3), 202-207. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.002
2. Asgharipour, M., & Rafiei, M. (2010). Intercropping of isabgol (*Plantago ovata* L.) and lentil as influenced by drought stress. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, *4*(3), 341-348.
3. Bagheri, M., Rasouli-Sadaghiani, M., Rezaei-Chiyaneh, E., & Barin, M. (2022). Evaluation of growth indices of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and Moldavian balms (*Dracocephalum moldavica*) at Different intercropping patterns in presence of microorganisms. *Journal of Horticultural Science*, *36*(2), 355-371 .(In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2021.67092.0
4. Banik, P., Midya, A., Sarkar, B., & Ghose, S. (2006). Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy*, *24*(4), 325-332. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.010
5. Chen, Lu., Ding, M., Li, Z., & Li, X. (2022). Determination of macro, micro and toxic element concentrations in peanuts from main peanut producing areas of China by ICP-MS: A pilot study on the geographical characterization. *RSC advances*, *12*(26), 16790-16797. https://doi.org/10.1039/d2ra02148j
6. Dahmardeh, M., & Keshtegar, A. (2014). Evaluation of yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) in intercropping with peanuts (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Agroecology*, *6*(2), 311-323. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v6i2.39371
7. Dugassa, M., Legesse, H., & Geleta, N. (2023). Benefit and compatibility of maize (*Zea mays* L.) groundnut (*Arachis hypogaea*) intercropping as affected by spacing and row arrangements. *Journal of Agriculture, Food and Natural Resources*, *1*(1), 10–15.
8. Feng, C., Sun, Z., Zhang, L., Feng, L., Zheng, J., Bai, W., Gu, C., Wang, Q., Xu, Z., & van der Werf, W. (2021). Maize/peanut intercropping increases land productivity: A meta-analysis. *Field Crops Research*, *270*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108208
9. Ghosh, P., Manna, M., Bandyopadhyay, K., Ajay, Tripathi, A., Wanjari, R., Hati, K., Misra, A., Acharya, C., & Subba Rao, A. (2006). Interspecific interaction and nutrient use in soybean/sorghum intercropping system. *Agronomy Journal*, *98*(4), 1097-1108. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0328
10. Keshtehgar, A., Dahmardeh, M., Galavi, M., & Khammari, I. (2015). Evaluation of yield and yield components of peanut (*Arachis hypogaea* L.) in intercropping with maize (*Zea mays* L.). *Applied Field Crops Research*, *28*(107), 115-123. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/aj.2015.105712
11. Khammar, Z. (2013). Evaluation of ecological aspects and beneficiary Indices of millet (*Pennisetum Americanum* L)-peanuts (A*rachis hypogea* L.) intercropping in additive and replacement series systems. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. (In Persian with English abstract).
12. Khamar, Z., Dahmardeh, M., Khammari, I., & Moosavi Nik, S. M. (2019). The evaluation of resource efficiency and soil fertility indices in pearl millet (*Panucum miliaceum* L.) and peanut (*Arachis hypogaea* L.) intercropping. *Journal of Agroecology*, *11*(4), 1511-1525. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.22067/jag.v11i4.76827
13. Li, Y., Wang, L., Zhao, B., Liu, P., Zhang, J., Dong, S., & Shi, D. (2023). Crop productivity, economic advantage, and photosynthetic characteristics in a corn-peanut intercropping system. *Agronomy*, *13*(2), 509. https://doi.org/10.3390/agronomy13020509.
14. Mao, L., Zhang, L., Li, W., Van der Werf, W., Sun, J., Spiertz, H., & Li, L. (2012). Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop. *Field Crops Research*, *138*, 11-20 .https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.019.
15. Moosavi, S.G., Hemayati, S.S., Seghatoleslami, M.J., & Ansarinia, E. (2012). Effect of planting date and plant density on morphological traits, yield and water use efficiency of *Plantago ovate*. *Journal of Medicinal Plants Research*, *6*, 1873-1878. https://doi.org/10.5897/JMPR11.1242.
16. Mosapour, H., Ghanbari, A., Sirousmehr, A., & Asgharipour, M. (2015). Effect of sowing time on seed yield, advantage and competitive indices in ajwain (*Carum copticum* L.) and isabgol (*Plantago ovate* Forsk.) intercropping. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *25*(3), 1-13. (In Persian with English abstract). https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_3939_0.
17. Neamatollahi, E., Jahansuz, M.R., Mazaheri, D., & Bannayan, M. (2013). Intercropping. *Sustainable Agriculture*

Reviews, *12*, 119-142. (In Persian)

18. Rezaei-Chiyaneh, Esmaeil, et al. (2021). Isabgol (*Plantago ovata*) and lentil (*Lens culinaris*) intercrop responses to arbuscular mycorrhizal fungi inoculation. *Biological Agriculture & Horticulture*, 37(2), 125-140. https://doi.org/10.1080/01448765.2021.1903556
19. Pourkarami, E., Dahmardeh, M., Galavi, M., & Khmmari, I. (2023). Evolution of yield and yield components of peanut in intercropping with Roselle in different levels of nitrogen. *Journal of Crops Improvement*, *25*(4), 887-899. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2023.346478.2735.
20. Roozpeikar, Z., Jowkar, M., Taei-Semiromi, J., & Parsa Motlagh, B. (2020). Effect of additive intercropping system on yield, yield components and efficiency indices of *Hyssopus officinalis* and *Plantago ovate* Forsk. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *30*(4), 1-17 .(In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/saps.2020.12284
21. Singh, A.K., Singh, J.B., Singh, R., Kantwa, S.R., Jha, P.K., Ahamad, S., Singh, A., Ghosh, A., Prasad, M., Singh, S., Singh, S., & Prasad, P.V.V. (2023). Understanding soil carbon and phosphorus dynamics under grass-legume intercropping in a semi-arid region. *Agronomy*, *13*(7), 1692. https://doi.org/10.3390/agronomy13071692
22. Zhang, Y., Sun, Z., Feng, C., Du, G., Feng, L., Bai, W., Zhang, Z., Zhang, D., Yang, J., & Li, C. (2025). Intercropping maize and peanut under semi-arid conditions is a zero-sum game. *Field Crops Research*, *326*, 109833 .https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109833
23. Zhao, Y., Guo, S., Zhu, X., Zhang, L., Long, Y., Wan, X., & Wei, X. (2024). How maize-legume intercropping and rotation contribute to food security and environmental sustainability. *Journal of Cleaner Production*, *434*, 140 150. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140150.
24. Zhou, D., Li, S., Yu, P., Xie, L ,.Xiu, N., Zhao, Y., Dong, Q., Zhang, H., Wang, J., & Wang, X. (2025). Maize/peanut strip intercropping improves yield stability and potassium use efficiency. *European Journal of Agronomy*, *169*, 127682. https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127682

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 3, 2025, p. 473-489

Effects of Water Deficit Stress and Exogenous 24-Epibrassinolide Foliar Application on Morphological Traits, Yield Components, Grain Yield, and Water Use Efficiency in Pinto Beans (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto)

Sulmaz Samfar[1], Hojatollah Latifmanesh[1*], Ali Moradi[1], Amin Mirshekari[1], Hamid Alahdadi[1] and Azar Razaghnasab[2]

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
2- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
(*- Corresponding author's Email: h.latifmanesh@yu.ac.ir)

Received: 23-06-2025
Revised: 11-09-2025
Accepted: 20-09-2025
Available Online: 26-11-2025

How to cite this article:
Samfar, S., Latifmanesh, H., Moradi, A., Mirshekari, A., Alahdadi, H., & Razaghnasab, A. (2025). Effects of water deficit stress and exogenous 24-epibrassinolide foliar application on morphological traits, yield components, grain yield, and water use efficiency in pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto). *Journal of Agroecology*, *17*(3), 473-489. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.94147.1244

Introduction

Pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto) is one of the most important legume crops within the Fabaceae family, cultivated extensively in tropical and subtropical regions. Despite its sensitivity to drought, this species plays a crucial role in food security and sustainable agriculture due to its rich composition of high-quality protein, complex carbohydrates, and essential micronutrients. However, drought stress represents a major abiotic constraint that significantly impairs crop performance by reducing stomatal conductance, decreasing chlorophyll content, disrupting photosynthesis, and limiting root and shoot development. To address this challenge, regulated deficit irrigation has emerged as an efficient strategy for optimizing water use while maintaining acceptable yield levels. Moreover, the application of plant growth regulators such as brassinosteroids, bioactive, eco-friendly, and steroidal compounds, has been recognized as a promising approach to enhancing plant tolerance to abiotic stress. These compounds contribute to stress mitigation by enhancing photosynthetic efficiency, stimulating the biosynthesis of vital metabolites, and activating enzymatic defence systems, thereby supporting plant growth and yield under water-limited conditions. Numerous studies have demonstrated that foliar application of brassinolide, particularly during sensitive developmental stages such as flowering, can substantially alleviate the adverse effects of drought and improve agronomic traits and seed yield. Consequently, the integration of deficit irrigation practices with exogenous brassinosteroid application represents a synergistic and effective approach for improving productivity and sustainability in pinto bean cultivation under arid and semi-arid climatic conditions.

Materials and Methods

To investigate the effects of foliar application of 24-epibrassinolide on morphological and agronomic traits of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto), a split-plot experiment was conducted in a randomized complete

Authors retain the copyright.This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.94147.1244

block design (RCBD) with three replications in 2022 at the Research Farm of Yasouj University. In this study, the main factor consisted of three irrigation levels based on Class A pan evaporation data: full irrigation (100% of crop water requirement), moderate drought stress (80%), and severe drought stress (60%). The sub-factor included four levels of 24-epibrassinolide foliar application: control (distilled water), 0.05, 0.1, and 0.2 mg.L^{-1}. The foliar treatments were applied to the aerial parts of the plants during both vegetative and reproductive growth stages. The objective of this research was to evaluate the interactive effects of drought stress and 24-epibrassinolide application on growth indices, yield components, and the adaptive responses of pinto bean under limited water availability.

Results and Discussion

The results demonstrated that severe drought stress (60% of crop water requirement) led to a significant reduction in morphological traits, with leaf area index and plant height decreasing by 47.26% and 19.19%, respectively. In contrast, foliar application of 0.2 mg L^{-1} 24-epibrassinolide significantly improved these traits, resulting in increases of 14.86% and 22.80% compared to the control. Furthermore, yield components including the number of pods per plant, the number of seeds per pod, and hundred-seed weight were markedly reduced under severe drought by 21.42%, 27.56%, and 12.69%, respectively. However, application of the highest 24-epibrassinolide concentration substantially enhanced these parameters, with increases of 105%, 61.56%, and 26.54% relative to the untreated control. The interaction between irrigation and foliar treatment revealed that under severe drought conditions, the application of 0.2 mg L^{-1} 24-epibrassinolide led to notable improvements in seed yield (44.34%), biological yield (39.78%), and harvest index (7.29%) compared to non-treated plants. Moreover, the highest water use efficiency was recorded under severe drought stress combined with this level of 24-epibrassinolide application, indicating the compound's significant role in optimizing performance under limited water availability. These findings highlight the protective and stimulatory effects of brassinosteroids in enhancing the growth and productivity of pinto bean under drought stress conditions.

Conclusion

Overall, these findings indicate that foliar application of 0.2 mg L^{-1} 24-epibrassinolide can serve as an effective strategy to enhance agronomic traits, seed yield, and water use efficiency of pinto bean under both full irrigation and deficit irrigation conditions. This underscores the critical role of this plant growth regulator in improving drought tolerance and sustaining economic yield under water-limited environments.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the Research and Technology Deputy of Yasouj University for financial support of this experiment.

Keywords: Biological yield, Harvest index, Leaf area index, Plant growth regulator

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱٤۰٤، ص ٤۸۹-٤۷۳

بررسی اثر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ۲٤-اپی‌براسینولید بر ویژگی‌های مورفولوژیک، اجزای عملکرد، عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب در لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto)

سولماز سامفر[۱]، حجت‌اله لطیف‌منش[۱*]، علی مرادی[۱]، امین میرشکاری[۱]، حمید اله‌دادی[۱] و آذر رزاق‌نسب[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

چکیده

لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto) به‌عنوان یکی از حبوبات مهم در تأمین پروتئین گیاهی، در شرایط کم‌آبیاری دچار کاهش عملکرد می‌شود که بررسی راهکارهای هورمونی می‌تواند در کاهش اثرات تنش مؤثر باشد. به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی ۲٤-اپی‌براسینولید بر صفات مورفولوزیک و زراعی لوبیا چیتی، آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج اجرا شد. سه سطح مختلف تیمار آبیاری شامل آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی)، تنش متوسط (۸۰ درصد نیاز آبی) و تنش شدید (۶۰ درصد نیاز آبی براساس تشتک تبخیر کلاس A) به‌عنوان عامل اصلی و چهار سطح محلول‌پاشی ۲٤-اپی‌براسینولید (شاهد (آب مقطر)، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر) به‌عنوان عامل فرعی بودند. آبیاری ۶۰ درصد موجب کاهش ۴۷/۲۶ و ۱۹/۱۹ درصد شاخص سطح برگ و ارتفاع شد. اثر ساده محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲٤-اپی‌براسینولید نیز موجب افزایش ۱۴/۸۶ و ۲۲/۸۰ درصدی این صفات نسبت به شاهد شد. تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه متأثر از تنش شدید با کاهش ۲۱/۴۲، ۲۷/۵۶ و ۱۲/۶۹ درصدی همراه شدند. در نقطه مقابل، کاربرد مجزای بالاترین سطح محلول‌پاشی، میزان این صفات را به‌ترتیب ۱۰۵، ۶۱/۵۶ و ۲۶/۵۴ درصد نسبت به شاهد بهبود بخشید. در سطح تنش شدید، محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر عامل افزایش ۴۴/۳۴، ۳۹/۷۸ و ۷/۲۹ درصدی عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت شد. به‌طور کلی، در این آزمایش محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲٤-اپی‌براسینولید اثرات منفی تنش کم‌آبی را بر ریخت‌شناسی و عملکرد لوبیا چیتی کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: تنظیم‌کننده رشد گیاهی، شاخص برداشت، شاخص سطح برگ، عملکرد زیستی

مقدمه

لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto) گیاهی یک‌ساله از تیره Fabaceae است که با وجود عدم مقاومت بالا به خشکی، در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری اهمیت راهبردی دارد (Narimanzadeh et al., 2024)؛ از همین رو، در چارچوب کشاورزی اقلیم‌محور و پایدار مورد توجه ویژه قرار گرفته است. از دیدگاه تغذیه‌ای، دانه‌های این گونه حاوی ترکیبات زیستی فعال از جمله پروتئین با کیفیت بالا (حدود ۲۵ درصد)، کربوهیدرات‌های پیچیده و عناصر ریزمغذی هستند که آن را به یک منبع غذایی عملکردگرا و مغذی بدل کرده‌اند (Wondimu & Tana., 2017). به‌دلیل اهمیت بالقوه اکولوژیک و به‌رغم حساسیت نسبی لوبیا به تنش خشکی، نیاز غذایی و جایگاه زراعی، این گیاه موجب گسترش کشت آن در مناطق کم‌بازده شده است.

تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده غیرزیستی محسوب می‌شود که با ایجاد اختلال در فرآیندهای ساختاری و عملکردی گیاه، از جمله تغییر در ویژگی‌های ریخت‌شناختی و بیوشیمیایی، به‌طور چشمگیری بازده گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد (Ansari et al., 2019). این تنش با محدود کردن تبادل گازی از

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: h.latifmanesh@yu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.94147.1244

طریق کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی به‌ویژه کلروفیل و افت کارآیی سامانه فتوسنتزی، موجب اختلال در فرآیند تولید ماده خشک می‌گردد و در نهایت منجر به افت عملکرد نهایی دانه می‌شود (Yeganehpoor et al., 2015). کمبود آب، به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک، اغلب در مراحل انتهایی رشد گیاه رخ می‌دهد و با ممانعت از تقسیم و توسعه سلولی، منجر به کاهش رشد طولی ساقه، محدود شدن اندازه برگ، مهار گسترش سامانه ریشه‌ای، تغییر در فعالیت روزنه‌ها و کاهش جذب عناصر غذایی می‌گردد (Kaushal & Wani, 2016). در این زمینه، تأثیر تنش خشکی بر صفات زراعی حبوبات نیز گزارش شده است که سطح برگ، ارتفاع بوته و عمکرد دانه در لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) (Davoudi et al., 2018)، وزن دانه‌ها در لوبیا سفید و لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) (Davoodi et al., 2018) و عملکرد دانه و عملکرد زیستی در لوبیا چیتی (Ghalandari et al., 2019) به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. بااین‌حال، در مواجهه با محدودیت منابع آبی، استفاده از راهبردهای مدیریتی مانند کم‌آبیاری کنترل‌شده به‌عنوان روشی جایگزین برای سازگاری با شرایط تنش آبی مطرح شده است، به‌گونه‌ای که کم‌آبیاری به‌عنوان یکی از راهبردهای مدیریت بهینه منابع آبی، روشی مؤثر در راستای دستیابی به تولید اقتصادی همراه با کاهش مصرف آب تلقی می‌شود. اگرچه این روش ممکن است منجر به کاهش نسبی عملکرد در واحد سطح گردد، ولی صرفه‌جویی چشمگیر در مصرف آب می‌تواند افت عملکرد را از منظر اقتصادی جبران کند (Gholami et al., 2025). از سوی دیگر، جهت ترمیم کاهش عملکردی نیز بهره‌گیری از ترکیبات مکمل نظیر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی برای بهبود سازگاری گیاه با شرایط کم‌آبی اهمیت یافته است.

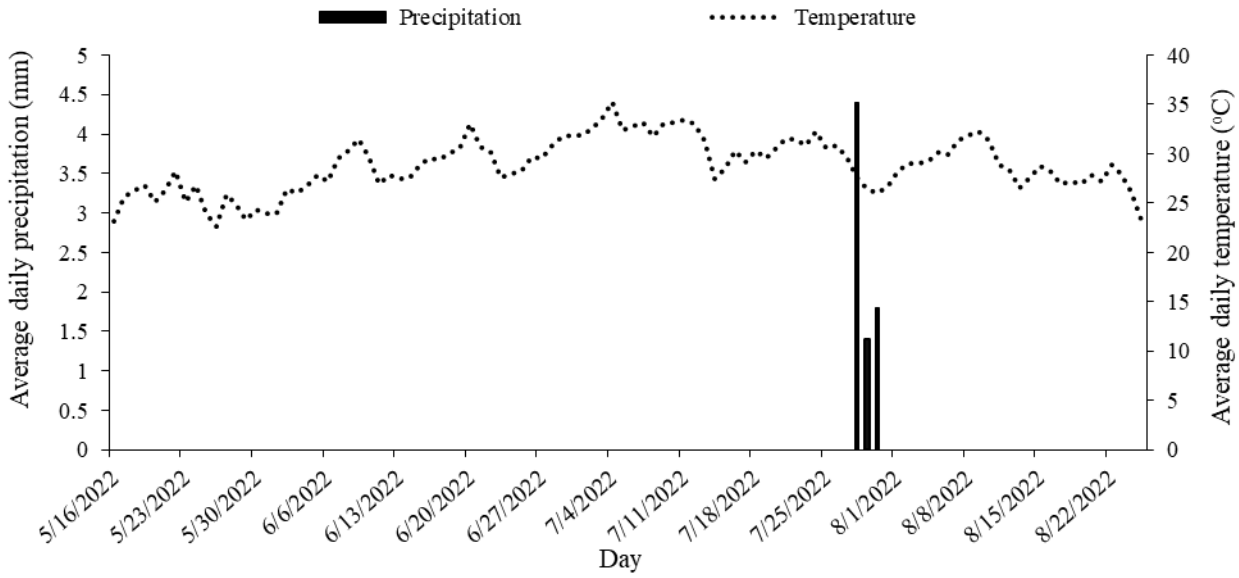
براسینولیدها، به‌عنوان هورمون‌های استروئیدی گیاهی، نقش بسزایی در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی از طریق تعدیل مسیرهای متابولیکی ایفا می‌کنند (Nolan et al., 2020). این گروه از هورمون‌ها شامل بیش از ۷۰ ترکیب شناسایی‌شده هشتند که از نظر ساختاری مشابه استروئیدها بوده و از بافت‌های مختلف گیاهی نظیر برگ، دانه، میوه، دانه گرده و گال‌ها استخراج می‌شوند (Rady & Mohamed, 2015). براسینولیدها که ترکیباتی غیرسمی و سازگار با محیطزیست می‌باشند (Hussain et al., 2020)، با تحریک فرآیندهایی نظیر فتوسنتز، بیوسنتز اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها، به بهبود رشد و عملکرد گیاه کمک می‌نمایند (Castañeda-Murillo et al., 2022). مطالعات دیگر نشان داده‌اند که کاربرد خارجی براسینولیدها تحت شرایط کم‌آبیاری موجب ارتقاء سامانه دفاع آنزیمی و غیرآنزیمی می‌شود، در نتیجه نقش حفاظتی در برابر تنش اکسیداتیو دارند (Khan et al., 2021). از همین رو در پی اثرگذاری بر خصوصیات فیزیولوژیک، بهبود صفات عملکردی را نیز به‌دنبال دارند. در این راستا گزارش شده است که اثر محلول‌پاشی اپی‌براسینولید و هموبراسینولید با غلظت‌های یک و پنج میکرومولار، پیش از اعمال تنش خشکی و در مرحله گل‌دهی بر لوبیا نشان داد که کاربرد این ترکیبات موجب کاهش اثرات منفی ناشی از خشکی بر سامانه ریشه‌ای شد. به‌طور خاص، استفاده از پنج میکرومولار براسینواستروئید منجر به بهبود عملکرد غلاف، هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی گردید (Upreti & Murti, 2004). در پژوهشی دیگر نیز اثربخشی براسینولید منجر به حداقل افت عملکرد دانه در گیاه سویا (*Glycine max* L.) تحت تنش خشکی شد (Zhang et al., 2008). صادقی پور و بنکدار هاشمی (Sadeghipour & Banekdar Hashemi, 2015) بهبود صفات شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی را تحت آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر با محلول‌پاشی دو میکرومولار براسینولید گزارش کردند. بر همین اساس، استفاده از براسینواستروئیدها در تولیدات کشاورزی به‌عنوان ابزاری مؤثر در بهبود رشد، افزایش عملکرد و ارتقاء تحمل به تنش، چشم‌انداز امیدبخشی برای بهره‌گیری در کشاورزی پایدار، به‌ویژه در شرایط اقلیمی چالش‌برانگیز مطرح شده است.

با توجه به گسترش فزاینده تنش خشکی در سطح ملی و جهانی و نیز نقش راهبردی لوبیا چیتی در نظام‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، این پژوهش با هدف بررسی اثرات کم‌آبیاری بر برخی صفات مورفولوژیک و عملکردی این گیاه زراعی انجام گرفت. همچنین در این مطالعه، تأثیر کاربرد خارجی هورمون ۲۴-اپی‌براسینولید به‌عنوان عامل زیست‌تحریک‌کننده بر افزایش تحمل به تنش خشکی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۱ در مزرعه‌ای واقع

در شرق شهر شیراز (با طول جغرافیایی ۵۱°۳۳′ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰°۳۸′ شمالی و ارتفاع ۱۸۷۰ متری از سطح دریا) که میانگین دمای روزانه و بارندگی در طول دوره پژوهش در شکل ۱ ارائه شده است، انجام گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح آبیاری (شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی)، تنش متوسط (۸۰ درصد نیاز آبی) و تنش شدید (۶۰ درصد نیاز آبی) براساس تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) به‌عنوان عامل اصلی و سطوح محلول‌پاشی ۲۴-اپی براسینولید (شاهد (صفر؛ آب مقطر)، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر) به‌عنوان عامل فرعی بودند. بذر به‌کاررفته در این آزمایش، لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto) رقم تلاش بود.



شکل ۱- وضعیت دما و بارندگی در طول دوره پژوهش

Fig. 1- Temperature and precipitation rate during the research period

پس از انجام عملیات آماده‌سازی زمین و پیش از کاشت، نمونه‌برداری جهت آنالیز خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری برای تعیین عناصر غذایی ماکرو و میکرو انجام گرفت (جدول ۱). کود سوپرفسفات تریپل (۷۵ کیلوگرم در هکتار) و اوره (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله، هنگام کاشت و آغاز گل‌دهی) براساس نتایج آزمون خاک مورد استفاده قرار گرفت. عملیات آماده‌سازی زمین در اواخر اردیبهشت ماه و به‌صورت دستی انجام شد. کرت‌ها با ابعاد ۳×۲ متر طراحی شدند؛ به‌گونه‌ای که هر کرت شامل پنج ردیف با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بود و بوته‌ها به‌فاصله پنج سانتی‌متری (با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع) روی ردیف قرار گرفتند. فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. بذرها با محلول سدیم هیپوکلریت پنج درصد ضدعفونی و سپس در هفته اول خرداد ماه در عمق ۳-۴ سانتی‌متری کشت شدند. آبیاری اولیه بلافاصله پس از کاشت انجام گردید. محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید در دو مرحله رشد رویشی (۲۱ روز پس از کاشت) و رشد زایشی (۴۵ روز پس از کاشت) با غلظت‌های تعیین‌شده (Ghasemi et al., 2021) و با استفاده از سورفکتانت (توین ۲۰) برای بهبود جذب صورت پذیرفت. مهار علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام گرفت. اعمال تنش کم‌آبیاری پس از رسیدن گیاهان به مرحله چهار تا شش برگی (۳۰ روز پس از کاشت) آغاز شد.

نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک نظیر ارتفاع بوته، شاخه‌های جانبی و قطر ساقه با انتخاب تصادفی ۱۰ بوته از هر کرت آزمایشی، با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، در اواسط مرحله پرشدن دانه رخ داد. مساحت برگ‌ها نیز به کمک دستگاه Leaf Area Meter مدل Delta T یادداشت شد و با توجه به نسبت سطح برگ به سطح زمین اشغال‌شده، شاخص سطح برگ مشخص گردید. در زمان رسیدگی برداشت (هفته اول شهریور ماه)، دو مترمربع از وسط هر کرت با رعایت حاشیه از ابتدا و انتهای هر ردیف و نیز ۵۰

سانتی‌متر از هر دو طرف در نظر گرفته شد. اجزای عملکرد (شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه) اندازه‌گیری و به‌واسطه آن‌ها عملکرد دانه نیز محاسبه گردید. برای ارزیابی عملکرد زیستی از قسمت‌های مختلف بوته گیاهی، نمونه‌هایی تهیه شد که با قرار دادن آن‌ها به‌مدت زمان ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، به کمک دستگاه آون خشک شده و سپس با استفاده از ترازوی دقیق توزین شدند. در انتها، شاخص برداشت از طریق نسبت عملکرد دانه به عملکرد زیستی ثبت شد. کارآیی مصرف آب نیز براساس عملکرد دانه به‌میزان آب مصرفی (اندازه‌گیری‌شده با کنتور حجمی) به دست آمد (Timmons et al., 1976).

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil where the experiment was carried out

بافت Texture	کربن آلی Organic C (%)	روی Zn ($mg.kg^{-1}$)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن N (%)	اسیدیته pH
سیلتی لومی Silty loam	0.70	0.84	5.21	310	17.18	0.14	7.54

آنالیز آماری داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار SAS 9.4 انجام گرفت. مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت. در صورت معنی‌دار بودن اثرات متقابل، برای مقایسه میانگین‌ها از رویه L.S.Means استفاده شد.

نتایج و بحث

اطلاعات حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید برای تمامی صفات مورد ارزیابی (شامل صفات مورفولوژیک و صفات عملکردی نظیر اجزای عملکرد و عملکرد دانه) در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲ و ۴). همچنین نتایج بیانگر معنی‌داری برهم‌کنش دوگانه تنها برای صفات عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و کارآیی مصرف آب در سطح احتمال خطای یک درصد بود (جدول ۴).

شاخص سطح برگ

بر مبنای مقایسه میانگین‌ها با افزایش سطوح کم‌آبیاری، میزان شاخص سطح برگ کاهش یافت. اعمال تنش با آبیاری ۶۰ درصد به‌میزان ۲۶/۴۷ درصد، محتوای این صفت را در مقایسه با آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) کاهش داد (جدول ۳). کاربرد محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید تحت شرایط تنش کم‌آبی روند مثبتی را نشان داد، به‌گونه‌ای که اعمال محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش ۱۴/۸۶ درصدی شاخص سطح برگ در مقایسه با تیمار عدم کاربرد براسینولید شد (جدول ۳).

تنش ناشی از کم‌آبیاری با ایجاد اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی و کاهش تقسیم و گسترش سلولی منجر به کاهش سطح برگ و در نتیجه افت شاخص سطح برگ می‌شود. کاهش این صفت نه‌تنها ظرفیت جذب تابش فعال فتوسنتزی را محدود می‌سازد، بلکه با القاء تنش اکسیداتیو موجب آسیب به ساختار سلولی و تخریب سامانه کلروپلاستی می‌شود. در این شرایط، کاربرد براسینواستروئیدها به‌واسطه خواص آنتی‌اکسیدانی و توانایی در تعدیل مسیرهای تنظیم رشد، نقش مؤثری در حفظ و بهبود شاخص سطح برگ ایفا می‌کند (Zahedipour Sheshglani & Asghari, 2020). این ترکیبات با مهار تولید گونه‌های فعال اکسیژن و تقویت بیوسنتز کلروفیل، پایداری عملکرد فتوسنتزی را سبب می‌شوند (Zhao et al., 2022)، زیرا براسینولیدها در فرآیند ساختاری رنگیزه‌ها احتمالاً از طریق تحریک تولید هورمون‌های رشد نظیر اسید ایندول استیک (IAA[1]) و بهبود تغذیه گیاه حضور بسزایی دارند (Pérez-Montaño et al., 2014). بنابراین ممکن است به فعالیت بیشتر بافت‌های مریستمی و افزایش تعداد و اندازه یاخته‌ها منجر شوند که در نهایت، سطح بیشتر برگ را به دنبال دارند.

1- Indole-3-Acetic Acid

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص سطح برگ، ارتفاع، شاخه‌های جانبی و قطر ساقه لوبیا چیتی تحت تأثیر تیمارهای تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of leaf area index, height, lateral branches and stem diameter of pinto bean under the effect of low irrigation stress treatments and foliar application of 24-epibrassinolide

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	شاخص سطح برگ Leaf area index	ارتفاع Height	شاخه‌های جانبی Lateral branches	قطر ساقه Stem diameter
تکرار Replication (R)	2	0.003^{ns}	4.11^{ns}	0.14^{ns}	0.13^{*}
تنش کم‌آبیاری Low irrigation stress (L)	2	5.09^{**}	641.88^{**}	16.78^{**}	5.92^{**}
خطای اصلی Main plot error	4	0.005	2.51	0.50	0.10
۲۴-اپی‌براسینولید 24-epibrassinolide (B)	3	0.64^{**}	431.04^{**}	18.43^{**}	1.54^{**}
L × B	6	0.01^{ns}	18.45^{ns}	0.29^{ns}	0.06^{ns}
خطای فرعی Subplot error	18	0.011	7.68	0.69	0.029
ضریب تغییرات C.V. (%)		2.52	4.15	17.24	2.23

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.

ns, * and **: Non significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید بر شاخص سطح برگ، ارتفاع، شاخه‌های جانبی و قطر ساقه در لوبیا چیتی

Table 3- Means comparison of the effect of low irrigation stress and foliar application of 24-epibrassinolide on leaf area index, height, lateral branches and stem diameter in pinto bean

تیمار Treatment	سطوح تیمار Treatment levels	شاخص سطح برگ Leaf area index	ارتفاع Height (cm)	شاخه‌های جانبی Lateral branches (number)	قطر ساقه Stem diameter (mm)
تنش کم‌آبیاری Low irrigation stress	۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% water requirement	4.76	72.32	5.97	8.55
	۸۰ درصد نیاز آبی 80% water requirement	4.41	69.36	4.91	7.42
	۶۰ درصد نیاز آبی 60% water requirement	3.50	58.44	3.61	7.26
LSD (0.05)		0.08	1.80	0.80	0.36
۲۴-اپی‌براسینولید 24-epibrassinolide ($mg.L^{-1}$)	0	3.97	59.15	3.43	7.31
	0.05	4.05	64.31	4.01	7.56
	0.1	4.32	67.23	5.22	7.81
	0.2	4.56	75.64	6.66	8.28
LSD (0.05)		0.10	2.74	0.82	0.17

ارتفاع بوته

براساس مقایسه میانگین‌های سطوح تنش کم‌آبیاری، کم‌ترین و بیشترین ارتفاع بوته (به‌ترتیب ۵۸/۴۴ و ۷۲/۳۲ سانتی‌متر) از سطوح آبیاری ۶۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شد که با یکدیگر اختلاف ۱۹/۱۹ درصدی را نشان دادند (جدول ۳). محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید نیز در سطح ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر با افزایش ۲۲/۸۰ درصدی ارتفاع بوته در مقایسه با شاهد (آب مقطر) همراه شد (جدول ۳).

یکی از نخستین نشانه‌های کمبود آب در گیاه، کاهش آماس یاخته‌ای است که در پی آن، فرآیند رشد و توسعه به‌ویژه در بافت‌های فعال مانند برگ و ساقه مختل می‌گردد (Eraji et al., 2023). رشد یاخته‌ها به‌عنوان یکی از حساس‌ترین فرآیندهای فیزیولوژیکی در برابر

تنش خشکی، به‌طور مستقیم از افت فشار اسمزی درون‌یاخته‌ای تأثیر می‌پذیرد. در این شرایط، اختلال در انتقال آب از آوندهای چوبی به بخش‌های در حال طویل شدن، گسترش یاخته‌ای را با مشکل مواجه کرده و منجر به کاهش اندازه و حجم آن‌ها می‌شود. در نهایت، کاهش تداوم و شدت این فرآیند موجب مختل شدن میتوز و کاهش ارتفاع ساقه خواهد شد (Rahimi et al., 2023). در نقطه مقابل، افزایش ارتفاع بوته در پی کاربرد اپی‌براسینولید احتمالاً ناشی از تحریک رشد طولی در بافت‌های مریستمی از طریق افزایش تقسیم و طویل شدن سلول‌ها است. این تنظیم فیزیولوژیکی موجب توسعه بیشتر بافت‌های جوان و افزایش اندازه اندام‌ها می‌شود. در نتیجه، اپی براسینولید با کاهش اثرات منفی تنش خشکی، به حفظ یا بهبود رشد طولی گیاه و ارتفاع بوته کمک می‌کند (Bera et al., 2014). کاربرد ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید نیز موجب افزایش ارتفاع بوته ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری از مراحل گل‌دهی و پرشدن دانه نسبت به شاهد شده است (Ghassemi et al., 2025).

تعداد شاخه‌های جانبی

اعمال تیمار تنش موجب کاهش ۱۷/۷۵ و ۳۹/۵۳ درصدی تعداد شاخه‌های جانبی در سطوح آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد به نسبت آبیاری ۱۰۰ درصد شد (جدول ۳). علاوه‌بر این مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده بهبود شاخه‌های فرعی با افزایش کاربرد محلول‌پاشی ۲۴-اپی براسینولید بود. اعمال ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید موجب افزایش ۹۴/۱۶ درصدی صفت یادشده در مقایسه با عدم محلول‌پاشی شد (جدول ۳).

ایجاد محدودیت در دسترسی به آب مورد نیاز گیاه، با کاهش سنتز و تحرک هورمونی، مانع تحریک جوانه‌زنی و رشد شاخه‌های جانبی می‌شود. علاوه‌بر این، کاهش سطح فتوسنتزی و افت توان منبع گیاه منجر به اولویت‌بندی تخصیص منابع به اندام‌های اصلی مانند ساقه و برگ‌های فعال شده و در نتیجه تشکیل و توسعه شاخه‌های جانبی به‌طور معنی‌داری محدود می‌شود. همسو با این یافته‌ها، در پژوهشی بر لوبیا قرمز (*Phaseolus calcaratus* Roxb.[1]) و لوبیا یام مکزیکی (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) نیز گزارش شد که تیمار رژیم‌های مختلف آبیاری تأثیر معنی‌داری بر شاخه‌های جانبی داشته است (Hasani et al., 2022). در چنین شرایطی که تنش خشکی رشد شاخه‌های جانبی را مهار می‌کند، تنظیم هورمونی براسینولید به حفظ فعالیت مریستم‌های جانبی، بهبود انتقال آب و مواد فتوسنتزی و تحریک تقسیم سلولی در ناحیه گره‌ها کمک می‌کند. در نتیجه، اپی‌براسینولید با کاهش اثر بازدارنده کم‌آبی بر شاخه‌زایی، موجب افزایش تعداد و رشد شاخه‌های جانبی شده و به توسعه ساختار رویشی و حفظ فتوسنتز در شرایط تنش کمک می‌کند (Pereira-Netto et al., 2006).

قطر ساقه

داده‌های آزمایشی بیانگر کاهش قطر ساقه با افزایش سطوح تنش کم‌آبی بود، به‌طوری که تیمار تنش شدید (۶۰ درصد نیاز آبی) با کاهش ۱۷/۷۶ درصدی قطر ساقه در مقایسه با آبیاری مطلوب همراه شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها مشخص نمود که با افزایش میزان ۲۴-اپی براسینولید تا ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر با کاهش اثرات تنش کم‌آبیاری، قطر ساقه بهبود یافت. بیشترین میزان قطر ساقه (۸/۲۸ میلی‌متر) مربوط به بالاترین سطح کاربرد ۲۴-اپی‌براسینولید بود، به‌گونه‌ای که در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی موجب افزایش ۱۳/۲۶ درصدی این صفت شد (جدول ۳).

کاهش قطر ساقه را می‌توان ناشی از تضعیف فرآیندهای فتوسنتزی در اثر محدودیت آبی و همچنین افزایش نیاز به بسیج ذخایر کربنی ساقه برای تأمین نیازهای رشدی اندام‌های زایشی در شرایط تنش دانست. در طی دوره پر شدن دانه، به‌دلیل افزایش نیاز دانه‌ها به ترکیبات پرورده و همزمان با کاهش عملکرد فتوسنتزی برگ‌ها تحت تأثیر پیری و محدودیت‌های محیطی، گیاه با کاهش نسبت منبع به مخزن مواجه می‌شود. در این شرایط، به‌منظور حفظ روند پر شدن دانه، انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از ساقه فعال شده و به‌مرور موجب کاهش بافت‌های ذخیره‌ای و در نهایت کاهش ضخامت ساقه می‌گردد (Mohammadi et al., 2021). از سوی دیگر، در شرایط تنش خشکی که رشد آوندهای چوبی و آبکشی

۱- در ادبیات علمی جدید، نام پذیرفته شده برای این گیاه *Vigna umbellate* (Thunb.) Ohwi & Ohashi (لوبیای برنجی) است و نام *Phaseolus calcaratus* مترادف قدیمی و منسوخ شده آن به‌شمار می‌رود. نام علمی صحیح لوبیای قرمز رایج (Kidney Bean) *Phaseolus vulgars* L. است.

محـدود می‌گـردد، افـزایش معنـی‌دار قطـر سـاقه در تیمارهـای دریافت‌کننده اپی‌براسینولید در مقایسه با شاهد، می‌تواند ناشی از بهبود رانـدمان فتوسـنتزی و در پـی آن افـزایش تولیـد مـاده خشـک و ذخیره‌سازی بیشتر ترکیبات فتوسنتزی در بافت‌های ساقه باشد. اعمال محلول‌پاشـی ۲۴-اپی‌براسـینولید در سوسـن (*Lilium* "Fangio" (LA hybrid, Longiflorum × Asiatic)) (Omidian et al., 2021) و *Genipa Americana* L. (Lima et al., 2025) همانند نتایج حاضر سبب افزایش قطر ساقه شد.

اجزای عملکرد

تعداد غلاف در بوته

نتایج مقایسه میانگین‌ها آشکار نمود که تعداد غلاف در بوته متأثر از سطوح تنش کم‌آبیاری به‌صورت معنـی‌داری کـاهش یافـت. تحـت آبیاری ۶۰ درصد کمترین تعداد غلاف در بوتـه مشـاهده شـد کـه در مقایسه با تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد با کاهش ۲۱/۴۲ درصـدی مواجـه بود (جدول ۵). کاربرد محلول‌پاشی نیز با افزایش تعد غـلاف در بوتـه همراه بود. محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپـی‌براسـینولید بـه نسبت شاهد باعث افزایش ۱/۰۵ برابـری تعـداد غـلاف در بوتـه شـد (جدول ۵).

تعداد غلاف‌ها مهم‌ترین جزء تعیین‌کننـده عملکـرد دانـه در لوبیـا می‌باشد که به‌شدت تحت تأثیر شرایط محیطـی بـه‌ویژه دمـا و تـنش خشـکی قـرار می‌گیـرد (Morosan, 2017). در شـرایط محـدودیت آبیاری، با توجه به رشد نامحدود لوبیا، کاهش مدت زمان دوره رشـد و همچنین کاهش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه، از عوامل اصلی کاهش تعداد غلاف‌ها در بوتـه نسـبت بـه شـرایط آبیـاری کامـل محسـوب می‌شود. کاهش تعداد غلاف‌ها در اثر کم‌آبی در لوبیا توسـط مطالعـات دیگر نیز گزارش شده است (Mohajerani et al., 2016; Ghaedi et al., 2021). کاربرد ۲۴-اپی‌براسینولید با افزایش تحمـل گیـاه بـه تـنش خشـکی سـبب بهبـود تعـادل هورمـونی، افـزایش فعالیـت آنتی‌اکسیدانی و حفظ کارآیی فتوسنتز می‌شود. این عوامل بـه انتقـال مؤثر مواد فتوسنتزی و کاهش ریزش گل‌ها و غلاف‌ها کمک می‌کنند. در نتیجه، گل‌های بارور بیشتری روی ساقه اصلی حفظ شده و تعـداد غلاف در بوته افزایش می‌یابد. این اثر هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط کم‌آبی مشـاهده شـده اسـت (Zhang et al., 2008; Upreti & Murti, 2004; Anjum et al., 2011).

تعداد دانه در غلاف و دانه در بوته

بر مبنای مقایسه میانگین سطوح آبیـاری، تعـداد دانـه در غـلاف متناسب با افزایش شدت تنش کم‌آبیاری کاهش یافت، به‌گونه‌ای کـه تیمار آبیاری ۶۰ درصد عامـل افـت ۲۷/۵۶ درصـدی ایـن صـفت بـه نسبت آبیاری ۱۰۰ درصد شد. از سوی دیگر، بیشترین تعـداد دانـه در بوته (۱۰۶/۶۹ عدد) در تیمار آبیاری کامل به دست آمد که در مقایسه با تیمار تنش شدید (۶۷/۴۴ عدد) اختلاف ۳۶/۷۸ درصدی را بروز داد (جدول ۵). مقایسه میـانگین سـطوح مختلـف محلول‌پاشـی ۲۴-اپـی براسینولید نمایانگر تأثیر مثبت و معنـی‌دار ایـن هورمـون در افـزایش تعداد دانه در غلاف و دانه در بوته بود. بیشترین تعداد دانـه در غـلاف (۴/۹۶ عدد) و دانه در بوته (۱۲۴/۳۷ عدد) در تیمار محلول‌پاشـی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید و کمترین آن‌ها (بـه‌ترتیب ۳/۰۷ و ۳۷/۶۲ عدد) در شاهد (عدم محلول‌پاشی) به دست آمد. از این جهـت، اعمال محلول‌پاشی در بالاترین سطح کاربردی در ایـن آزمـایش، بـه ترتیب سبب افزایش ۶۱/۵۶ و ۲۳۰ درصدی تعـداد دانـه در غـلاف و دانه در بوته شده است (جدول ۵).

مطالعات نشان داده‌اند که تنش کم‌آبی در مرحله گل‌دهی موجب افزایش ریزش گل‌ها و سـقط دانـه‌های تـازه تشکیل‌شـده می‌گـردد، همچنین منجر به کاهش مدت زمان مرحله تشکیل اندام‌های زایشـی شده و در نهایت کاهش تعداد دانه در غلاف را به همراه دارد. با توجه به اینکه گیاهان دارای سـازوکارهای تنظـیم انـدازه مخـزن براسـاس میزان آسیمیلات‌های ذخیره‌شده هستند، در شرایط تـنش کم‌آبیـاری، گیاه با افزایش ریـزش گل‌هـا و غلاف‌هـا، انـدازه مخـزن را کـاهش می‌دهد که این فرآیند منجر به کاهش تعداد غلاف در بوته و به‌دنبال آن کاهش تعداد دانه در هر غلاف می‌شود (Shekari et al., 2010). کاربرد اپی‌براسینولید احتمالاً از طریـق بهبـود وضـعیت فیزیولـوژیکی گیاه، به‌ویژه در دوره‌های بحرانی رشد زایشی موجـب حفـظ گل‌هـا و جنین‌های تازه‌تشکیل‌شده گشته است. این اثر به کاهش ریزش گـل، افزایش بقاء و رشـد دانـه‌ها در غـلاف انجامیـده و در نهایـت باعـث افزایش تعداد دانه در غلاف (و به‌طور کلی تعداد دانه در بوته)، چـه در شرایط تنش کم‌آبیاری و چه در شرایط آبیاری مطلوب گردیده است.

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اجزای عملکرد، عملکرد دانه عملکرد زیستی، شاخص برداشت و کارآیی مصرف آب تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ٢٤-اپی‌براسینولید در لوبیا چیتی

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of yield components, grain yield, biological yield, harvest index and water use efficiency under the effect of low irrigation stress and foliar application of 24-epibrassinolide in pinto bean

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	غلاف در بوته Pod per plant	دانه در غلاف Seed per pod	دانه در بوته Seed per plant	وزن صد دانه 100-seed wheaigth	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	کارآیی مصرف آب Water use efficiency
تکرار Replication (R)	2	12.33^{**}	0.45^{ns}	130.92^{ns}	0.09^{ns}	9433^{ns}	2352^{ns}	1.99^{ns}	0.0008^{ns}
تنش کم‌آبی Low irrigation stress (L)	2	41.26^{**}	5.98^{**}	4802.99^{**}	72.52^{**}	2451858^{**}	6357886^{**}	33.34^{**}	0.069^{**}
خطای اصلی Main plot error	4	0.29	0.11	14.81	3.85	6766	10677	3.12	0.0005
٢۴-اپی‌براسینولید 24-epibrassinolide (B)	3	328.19^{**}	6.96^{**}	14712.93^{**}	126.81^{**}	2415429^{**}	7768165^{**}	55.28^{**}	0.207^{**}
L × B	6	1.31^{ns}	0.16^{ns}	91.90^{ns}	1.26^{ns}	236165^{**}	552171^{**}	7.66^{**}	0.008^{**}
خطای فرعی Subplot error	18	1.02	0.17	111.37	1.88	21370	64869	1.69	0.001
ضریب تغییرات C.V. (%)		5.26	9.89	12.43	3.82	5.87	5.07	2.64	6.40

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.

ns, * and **: Non significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید بر اجزای عملکرد و تعداد دانه در بوته در لوبیا چیتی

Table 5- Means comparison of the effect of low irrigation stress and foliar application of 24-epibrassinolide on yield components and number of seed per plant in pinto bean

نیمار Treatment	سطوح تیمار Treatment levels	غلاف در بوته Pod per plant (number)	دانه در غلاف Seed per pod (number)	دانه در بوته Seed per plant (number)	وزن صد دانه 100-seed wheaigth (g)
تنش کم‌آبیاری Low irrigation stress	۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% water requirement	20.97	4.97	106.69	38.52
	۸۰ درصد نیاز آبی 80% water requirement	19.41	3.97	80.33	35.67
	۶۰ درصد نیاز آبی 60% water requirement	17.27	3.60	67.44	33.63
LSD (0.05)		0.61	0.37	4.36	2.22
۲۴-اپی‌براسینولید 24-epibrassinolide ($mg.L^{-1}$)	0	12.29	3.07	37.62	31.64
	0.05	16.14	3.88	65.37	34.18
	0.1	23.22	4.81	111.92	37.91
	0.2	25.22	4.96	124.37	40.04
LSD (0.05)		1.00	0.40	10.45	1.35

مطابق با این آزمایش، محققان دیگر در لوبیا (Mohammadi et al., 2018) و گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) (Zafari et al., 2020) نیز به تأثیر مثبت اپی‌براسینولیدها بر تعداد دانه در غلاف (یا طبق) نیز اشاره نموده‌اند.

وزن صد دانه

با کاهش آبیاری، وزن صد دانه نیز کاهش یافت، به‌طوری که در تیمار آبیاری ۶۰ درصد نسبت به آبیاری ۱۰۰ درصد، کاهش ۱۲/۶۹ درصدی وزن صد دانه مشاهده شد (جدول ۵). اعمال تیمار محلول‌پاشی هورمون نیز سبب افزایش وزن صد دانه گردید. بیشترین وزن صد دانه (۴۰/۰۴ گرم) از محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید حاصل شد که باعث افزایش ۲۶/۵۴ درصدی این صفت نسبت به شاهد (آب مقطر) شد (جدول ۵).

در دوره‌های رویشی و زایشی، کمبود آب با افزایش رقابت بین گیاهان برای دسترسی به آب و مواد مغذی، کاهش وزن دانه را به دنبال دارد. علاوه‌بر این، کوتاه شدن طول مدت رشد در این مراحل باعث کاهش زمان مؤثر پر شدن دانه می‌شود که منجر به کاهش تولید و انتقال محصولات فتوسنتزی به دانه و در نهایت کاهش وزن دانه در مرحله توسعه دانه می‌گردد (Eraji et al., 2023). هم‌راستا با نتایج حاضر گزارش شده است که تنش خشکی بر وزن دانه ارقام مختلف لوبیا مؤثر بود (Davoodi et al., 2017). از سوی دیگر، براسینولید می‌تواند با بهبود فرآیند تلقیح و افزایش کارآیی انتقال مواد فتوسنتزی به ساختارهای زایشی، به‌ویژه اندام‌های مولد بذر موجب ارتقاء وزن دانه در غلاف شود (Ghasemi et al., 2021). گروه دیگری از پژوهشگران نیز تأثیرگذاری این هورمون بر افزایش ماده خشک دانه را به فعالیت بیشتر نیتروژناز نسبت می‌دهند (Ali et al., 2007). در نتیجه، براسینولید از طریق بهینه‌سازی تخصیص منابع و حفظ ساختارهای زایشی فعال، نقش مهمی در بهبود اجزای عملکردی نظیر وزن دانه ایفا می‌کند.

عملکرد دانه

نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش دوگانه حاکی از آن است که در هر یک از سطوح تیمار کم‌آبیاری، بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید بود که به‌ترتیب موجب افزایش ۷۲/۴۰، ۵۶/۰۳ و ۴۴/۳۴ درصدی عملکرد دانه تحت سطوح ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی درمقایسه با شاهد همان سطح شد (جدول ۶).

تنش خشکی با کاهش سطح برگ، از طریق محدودیت در توزیع مواد فتوسنتزی (اندازه منبع) منجر به افت توان تولیدی گیاه و اختلال در فرآیند رشد نظیر کاهش اجزای عملکرد شد. این شرایط تنشی با

کاهش سنتز و انتقال ترکیبات فتوسنتزی، همچنین اختلال در تلقیح گل‌ها موجب کاهش تعداد غلاف در هر بوته، تعداد دانه در هر غلاف و وزن صد دانه (اندازه مخزن) گردید. در نتیجه، مجموع این اثرات منفی، کاهش معنی‌دار عملکرد نهایی دانه را در پی داشت. یافته‌های پژوهش‌های دیگران نیز تأیید می‌کنند که تنش خشکی تأثیر منفی قابل توجهی بر عملکرد دانه لوبیا دارد (Keshtegar Khajedad et al., 2023; Mohammadi et al., 2021). براساس گزارش‌ها، افزایش عملکرد دانه در پی کاربرد اپی‌براسینولید ممکن است به‌دلیل تحریک تولید سایتوکینین و فعالیت نیتروژناز در ریشه‌ها (Upreti & Murti, 2004) و یا تأکید بیشتر بر بهبود راندمان فتوشیمیایی فتوسنتز و افزایش کارآیی جذب دی‌اکسید کربن باشد (Talaat, 2020) که به تجمع بیشتر رنگدانه‌های فتوسنتزی، به‌ویژه کلروفیل نسبت داده می‌شود. تأثیر محلول‌پاشی براسینولید بر افزایش عملکرد دانه در مطالعات مختلف گونه‌های زراعی از جمله لوبیا چیتی (Hajiri & Pazoki, 2023) و لوبیا چشم‌بلبلی (Mohammadi et al., 2020) نیز گزارش شده است.

عملکرد زیستی

میزان عملکرد زیستی لوبیا چیتی متناسب با افزایش سطوح تنش کم‌آبیاری کاهش یافت، امّا کاربرد محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید این روند نزولی را بهبود بخشید. در سطوح آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد، بیشترین میزان عملکرد زیستی از تیمار کاربرد ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید حاصل شد که نسبت به شاهد به‌ترتیب افزایش ۶۶/۹۹، ۴۴/۷۶ و ۳۹/۷۸ درصدی را نشان داد (جدول ۶).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ٢٤-اپی‌براسینولید بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و کارآیی مصرف آب در لوبیا چیتی

Table 6- Means comparison of interaction effects of low irrigation stress and foliar application of 24-epibrassinolide on grain yield, biological yield, harvest index and water use efficiency in pinto beans

تنش کم‌آبیاری Low irrigation stress	محلول‌پاشی ٢٤- اپی‌براسینولید 24-epibrassinolide foliar application ($mg.L^{-1}$)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد زیستی Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)	کارآیی مصرف آب Water use efficiency ($kg.m^{-3}$)
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% water requirement	0	2196	4533	48.42	0.41
	0.05	2446	4990	49.02	0.47
	0.1	3526	6186	50.04	0.73
	0.2	3786	7570	57.04	0.79
۸۰ درصد نیاز آبی 80% water requirement	0	1963	4200	46.74	0.47
	0.05	2076	4423	47	0.50
	0.1	2386	4636	50.37	0.60
	0.2	3063	6080	51.44	0.80
۶۰ درصد نیاز آبی 60% water requirement	0	1743	3760	46.35	0.58
	0.05	2026	4263	47.55	0.69
	0.1	2146	4316	47.86	0.74
	0.2	2516	5256	49.73	0.89
LSD (0.05)		250.7	436.9	2.22	0.66

در شرایط آبیاری کافی، به‌واسطه دسترسی مناسب به رطوبت و فراهم بودن شرایط مطلوب برای رشد، وزن خشک کل گیاه به‌طور معنی‌داری بالاتر از شرایط تنش کم‌آبیاری بود. در مقابل، اعمال کم‌آبی با کاهش پتانسیل آماس یاخته‌ای، کاهش سطح برگ و وزن خشک آن، و همچنین کاهش نرخ فتوسنتز به‌واسطه تسریع پیری و ریزش برگ‌ها منجر به افت قابل توجه در وزن خشک کل گیاه گردید. به گزارش صفی خانی و همکاران (Safikhani et al., 2007) یکی از نخستین واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاهان به تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش رشد برگ‌ها است که در ادامه موجب کاهش تولید مواد فتوسنتزی شده و در نهایت کاهش زیست‌توده کل را به دنبال خواهد داشت. افزایش تولید ماده خشک در تیمارهای مختلف ۲۴-اپی‌براسینولید می‌تواند ناشی از گسترش بیشتر سطح برگ باشد. این گسترش سطح برگ احتمالاً منبع فتوسنتزی مؤثرتری را برای بهره‌برداری بهتر از نور فراهم ساخته و به‌دنبال آن،

تولید ماده خشک افزایش یافته است. مطالعات قبلی نیز نشان داده‌اند که کاربرد براسینولید در گیاه سویا با بهبود پتانسیل آب برگ، افزایش محتوای کلروفیل و ارتقاء نرخ فتوسنتز موجب توسعه سطح برگ، افزایش اجزای مرتبط با عملکرد، تجمع ماده خشک و در نهایت بهبود عملکرد زیست‌توده شده است (Zhang et al., 2008). دهقان و همکاران (Dehghan et al., 2017) نیز در پژوهش خود گزارش کردند که محلول‌پاشی براسینولید سبب افزایش معنی‌دار در عملکرد زیستی گندم (*Triticum aestivum* L.) گردید.

شاخص برداشت

مقایسه میانگین برهم‌کنش دوگانه تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی هورمون نشان داد که با افزایش شدت تنش در لوبیا چیتی، از میزان شاخص برداشت کاسته شد و در هر سه سطوح تنش کم‌آبیاری، بیشترین میزان شاخص برداشت به‌ترتیب با میانگین‌های ۵۷/۰۴، ۵۱/۴۴ و ۴۹/۷۳ درصد از تیمار کاربرد ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید به دست آمد. کم‌ترین مقدار نیز به‌ترتیب با میانگین‌های ۴۸/۴۲، ۴۶/۷۴ و ۴۶/۳۵ درصد در شاهد (عدم محلول‌پاشی) مشاهده شد، ازاین‌رو کاربرد این سطح از هورمون با افزایش ۱۷/۸۰، ۱۰/۰۵ و ۷/۲۹ شاخص برداشت برای هر یک از سطوح ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی همراه شد (جدول ۶).

کاهش شاخص برداشت در شرایط کم‌آبی عمدتاً به‌دلیل افت نسبی بیشتر عملکرد دانه در مقایسه با کاهش عملکرد زیستی کل است. غفاری و همکاران (Ghafari et al., 2021) در پژوهش روی لوبیا نشان دادند که بین رژیم‌های مختلف آبیاری از نظر شاخص برداشت که نمایانگر میزان تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها است، تفاوت معنی‌داری وجود داشت. آن‌ها تأکید نمودند که تنش خشکی در مرحله زایشی، از طریق تأثیر منفی بیشتری که بر تولید غلاف در بوته دارد، در ادامه عامل کاهش عملکرد و در نتیجه افت شاخص برداشت خواهد بود. شواهد این مطالعه نشان می‌دهد که هورمون ۲۴-اپی‌براسینولید با جلوگیری از سقط اندام‌های زایشی و افزایش دوام آن‌ها موجب حفظ عملکرد دانه در شرایطی می‌شود که زیست‌توده کلی کاهش می‌یابد، بنابراین با کندتر شدن افت عملکرد اقتصادی نسبت به عملکرد زیستی، شاخص برداشت تحت تیمارهای کم‌آبیاری به‌طور مؤثری بهبود می‌یابد. پژوهشگران بیان داشته‌اند که کاربرد ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید، افزایش ۱۹/۰۳ درصدی شاخص برداشت آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) را به همراه داشته است (Ghasemi et al., 2021).

کارآیی مصرف آب

مطابق با جدول ۶، نتایج برهم‌کنش دوگانه نشان داد که در هر یک از سطوح تیمار کم‌آبیاری، محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید بیشترین میزان کارآیی مصرف آب را در پی داشت که به‌ترتیب عامل افزایش ۹۲/۶۸، ۷۰/۲۱ و ۵۳/۴۴ درصدی کارآیی مصرف آب تحت سطوح ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با شاهد شد. در این آزمایش، آبیاری کمتر موجب افزایش کارآیی مصرف آب گردید.

در شرایط کم‌آبی، گیاه قادر است با بستن نسبی روزنه‌ها از خروج بیش از حد آب جلوگیری کند که این فرآیند بر تعادل ورود دی‌اکسیدکربن و تجمع ماده خشک تأثیرگذار است. در این وضعیت، کاهش خروج آب نسبت به ورودی آن ممکن است بیشتر باشد و در نتیجه کارآیی مصرف آب (نسبت ورودی به خروجی آب) افزایش یابد. در همین راستا، صابرعلی و همکاران (Saberali et al., 2020) نیز گزارش کردند که تخلیه آبی ۶۰ درصد در ناحیه ریشه، کارآیی مصرف آب لوبیا را نسبت به سطوح دیگر (۵۰ و ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی) به طور معناداری افزایش داد. اپی‌براسینولید نیز با بهبود فتوسنتز و تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها باعث افزایش کارآیی مصرف آب در گیاه می‌شود. این هورمون با کاهش تعرق غیرضروری و بهینه‌سازی جذب و استفاده از آب، توانایی گیاه در حفظ رشد و عملکرد را تحت تنش کم‌آبیاری افزایش می‌دهد و مصرف آب را به شکل مؤثرتری مدیریت می‌کند. نتیج محققان نشان‌دهنده آن است که این تنظیم‌کننده رشد با برتری نسبت به اسید جیبرلیک و استیل سالیسیلیک اسید، افزایش معنی‌دار کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) را تحت وضعیت تنش خشکی سبب شده است (Pourasadollahi et al., 2020).

نتیجه‌گیری

براساس داده‌های به‌دست‌آمده، نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار تنش کم‌آبیاری (در سطوح ملایم و شدید) سبب کاهش معنی‌دار در تمام صفات رشدی و عملکردی نظیر ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، اجزای عملکرد و عملکرد دانه در مقایسه با شرایط آبیاری کامل گردید (به‌استثناء کارآیی مصرف آب که متناسب با شدت تنش افزایش

یافت). در مقابل، کاربرد محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید تحت شرایط بدون تنش باعث بهبود رشد رویشی و افزایش اجزای عملکرد شد و در شرایط تنش خشکی نیز توانست بخشی از آثار منفی کم‌آبیاری را کاهش دهد و موجب حفظ نسبی ساختار گیاه و ارتقاء عملکرد گردد. به‌طور کلی، محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید را می‌توان به‌عنوان ابزاری مؤثر برای بهبود رشد و عملکرد گیاه لوبیا چیتی در شرایط آبیاری بهینه و نیز به‌منظور افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی توصیه نمود. البته بررسی‌های بیشتر در شرایط محیطی متنوع، برای درک بهتر سازوکارهای مؤثر این تنظیم‌کننده رشد ضروری است.

References

1. Ali, B., Hayat, S., & Ahmad, A. (2007). Homobrassinolide ameliorates the saline stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Environmental and Experimental Botany*, *59*(2), 217–223. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.002
2. Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L., & Zou, C.M. (2011). Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *197*(3), 177–185. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x
3. Ansari, W.A., Atri, N., Pandey, M., Singh, A.K., Singh, B., & Pandey, S. (2019). Influence of drought stress on morphological, physiological and biochemical attributes of plants: A review. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, *16*(4), 697–709. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13005/bbra/2785
4. Bera, A.K., Pramanik, K., & Mandal, B. (2014). Response of biofertilizers and homobrassinolide on growth, yield and oil content of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *African Journal of Agricultural Research*, *9*(48), 3494–3503. https://doi.org/10.5897/AJAR2013.8457
5. Castañeda-Murillo, C.C., Rojas-Ortiz, J.G., Sánchez-Reinoso, A.D., Chávez-Arias, C.C., & Restrepo-Díaz, H. (2022). Foliar brassinosteroid analogue (DI-31) sprays increase drought tolerance by improving plant growth and photosynthetic efficiency in lulo plants. *Heliyon*, *8*(2). e08977. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08977
6. Davoodi, S.H., Rahemi-Karizaki, A., Nakhzari-Moghadam, A., & Gholamalipour Alamdari, E. (2018). The effect of deficit irrigation on yield and physiological traits of bean cultivars. *Plant Production Technology*, *10*(1), 83–95. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22084/ppt.2018.9633.1537
7. Davoodi, S., Rahemi-Karizaki, A., Nakhzari-Moghadam, A., & Gholamalipour Alamdari, E. (2017). Evaluation of response of yield, yield components and harvest index of bean (*Phaseolus vulgaris*) to terminal drought stress. *Crop Science Research in Arid Regions*, *1*(2), 155–165. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/csrar.01.02.03
8. Davoudi, A., Sadeghipour, O., & Tohidi Moghadam, H.R. (2018). Cowpea response to ascorbic acid application under drought stress conditions. *Journal of Crop Production Research*, *10*(3), 251–264. (In Persian with English abstract).
9. Dehghan, M., Balouchi, H.R., Yadavi, A.R., & Safikhani, F. (2017). Effect of foliar application of brassinolide on grain yield and yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Sirvan under terminal drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Science*, *19*(1), 40–56. (In Persian with English abstract).
10. Eraji, R., Rezadoost, S., Jalili, F., Rushdi, M., & Khalili Mahalla, J. (2023). Effect of irrigation cut off and antitranspirants on yield and some physiological characteristics of pinto beans. *Journal of Crop Production*, *16*(2), 149–168. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2023.20745.2545
11. Ghaedi, R., Razmjoo, J., & Gholami Zali, A. (2021). Effect of irrigation regimes on yield, yield components and seed quality of different pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Journal of Crop Production and Processing*, *11*(2), 1–18. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.47176/jcpp.11.2.23942
12. Ghafari, S., Tavakoli, A., Yousefi, A.R., Nikbakht, J., & Salek Mearaji, H. (2021). Effect of different irrigation regimes on gas exchanges and agronomy traits related to yield in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(1), 63–74. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2020.2596.1679
13. Ghalandari, S., Kafi, M., Goldani, M., & Bagheri, A. (2019). The effect of drought stress on some of morphological and physiological traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Iranian Journal of Pulses Research*, *10*(1), 114–125. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i1.64836

14. Ghasemi, M., Jahanbin, S., Latifmanesh, H., Farajee, H., & Mirshekari, A. (2021). Effect of brassinolide foliar application on some physiological and agronomic characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. *Journal of Crop Production*, *14*(1), 31–48. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.18084.2339
15. Ghassemi, A., Farzaneh, S., Moharramnejad, S., Seyed Sharifi, R., & Fathy Youesf, A. (2025). Effect of 24-epibrassinolide, spermine, and silicon on growth traits and grain yield in maize under water deficit stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *34*(4), 189–199. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/saps.2023.56134.3022
16. Gholami, F., Amerian, M.R., Asghari, H.R., & Ebrahimi, A. (2025). Evaluating the impact of yeast extract and 24-epi-brassinolid treatments on physiological characteristics and yield of cowpea (*Vigna unguiculata*) subjected to irrigation condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *56*(1), 1–22. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2024.369864.655052
17. Hajiri, K., & Pazoki, A. (2023). Investigating the role of brassinolide in tolerance to lead toxicity on growth and physiological traits of pinto beans. *Journal of Crop Production*, *16*(3), 17–32. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2024.20577.2532
18. Hasani, M., Tadayon, M.R., & Olia, M. (2022). The effect of organic and biological fertilizers on the growth and yield of two bean species (*Phaseolus calcaratus* L. and *Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) under drought stress. *Journal of Arid Biome*, *12*(2), 95–110. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/aridbiom.2023.20344.1943
19. Hussain, M.A., Fahad, S., Sharif, R., Jan, M.F., Mujtaba, M., Ali, Q., Ahmad, A., Ahmad, H., Amin, N., Ajayo, B.S., Jiang, Z., Gu, L., Sun, C., Ahmad, I., & Hou, J. (2020). Multifunctional role of brassinosteroid and its analogues in plants. *Plant Growth Regulation*, *92*, 141–156. https://doi.org/10.1007/s10725-020-00647-8
20. Kaushal, M., & Wani, S.P. (2016). Plant-growth-promoting rhizobacteria: Drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands. *Annals of Microbiology*, *66*, 35–42. https://doi.org/10.1007/s13213-015-1112-3
21. Keshtegar Khajedad, M., Sirousmehr, A., Khammari, I., & Dahmardeh, K. (2023). The effect of humic acid foliar application on morphophysiological characteristics and yield of black bean plant under different irrigation regimes. *Journal of Crops Improvement*, *25*(1), 127–142. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2022.322275.2538
22. Khan, I., Awan, S.A., Ikram, R., Rizwan, M., Akhtar, N., Yasmin, H., Sayyed, R.Z., Ali, S., & Ilyas, N. (2021). Effects of 24-epibrassinolide on plant growth, antioxidants defense system, and endogenous hormones in two wheat varieties under drought stress. *Physiologia Plantarum*, *172*(2), 696–706. https://doi.org/10.1111/ppl.13237
23. Lima, G.G., dos Santos, G.G.A., da Silva, K.P., da Silva Ribeiro, C., Alves, A.C.B., de Oliveira Neto, C.F., Leão, F.M., dos Santos Junior, J.B., & Hernández-Ruz, E.J. (2025). Application of 24-epibrassinolide promotes the development and growth of *Genipa americana* L. seedlings under varying shading levels. *Discover Applied Sciences*, *7*(5), 383. https://doi.org/10.1007/s42452-025-06961-y
24. Mohajerani, S.H.S., Alavi Fazel, M., Madani, H., Lak, S., & Madhaj, A. (2016). Yield and physiological response of red bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) to cutting irrigation off at different growth stages. *Journal of Crop Ecophysiology*, *10*(1), 213–224. (In Persian with English abstract).
25. Mohammadi, M., Pouryousef, M., Tavakoli, A., & Mohseni Fard, E. (2020). Study the effect of epibrassinolide application on the activity of some antioxidant enzymes, nitrate reductase, and photosynthetic pigments of common bean under drought stress. *Iranian Journal of Pulses Research*, *11*(2), 76–94. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v11i2.76131
26. Mohammadi, M., Pouryousef, M., & Tavakoli, A. (2021). The effect of epibrassinolide application on photosynthetic material allocation, drought tolerance, and seed yield of two pinto bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *19*(2), 169–184. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.68288.1010
27. Mohammadi, M., Tavakoli, A., Pouryousef, M., & Mohsenifard, E. (2018). The effect of epibrassinolide on growth and seed yield of bean under optimal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, *20*(3), 595–608. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2018.249057.1913
28. Morosan, M., Al Hassan, M., Naranjo, M.A., López-Gresa, M.P., Boscaiu, M., & Vicente, O. (2017). Comparative analysis of drought responses in *Phaseolus vulgaris* (common bean) and *P. coccineus* (runner bean) cultivars. *The*

EuroBiotech Journal, *1*(3), 247–252. https://doi.org/https://doi.org/10.24190/ISSN2564-615X/2017/03.09

29. Narimanzadeh, A., Sheikhzadeh, P., Zare, N., Sedghi, M., & Rostamihir, M. (2024). Effect of foliar application of nanosilicon on grain yield and some physiological traits of pinto bean under water limitation conditions. *Journal of Crop Production*, *17*(2), 53–70. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2024.21671.2600
30. Nolan, T.M., Vukašinović, N., Liu, D., Russinova, E., & Yin, Y. (2020). Brassinosteroids: Multidimensional regulators of plant growth, development, and stress responses. *The Plant Cell*, *32*(2), 295–318. https://doi.org/10.1105/tpc.19.00335
31. Omidian, M., Roein, Z., & Shiri, M.A. (2022). Effect of foliar application of 24-epibrassinolide on water use efficiency and morpho-physiological characteristics of *Lilium* LA hybrid under deficit irrigation. *Journal of Plant Growth Regulation*, *41*(4), 1547–1560. https://doi.org/10.1007/s00344-021-10400-8
32. Pereira-Netto, A.B., Cruz-Silva, C.T.A., Schaefer, S., Ramírez, J.A., & Galagovsky, L.R. (2006). Brassinosteroid-stimulated branch elongation in the marubakaido apple rootstock. *Trees*, *20*, 286–291. https://doi.org/10.1007/s00468-005-0041-3
33. Pérez-Montaño, F., Alías-Villegas, C., Bellogín, R., Del Cerro, P., Espuny, M., Jiménez-Guerrero, I., López-Baena, F.J., Ollero, F., & Cubo, T. (2014). Plant growth promotion in cereal and leguminous agriculturally important plants: From microorganism capacities to crop production. *Microbiological Research*, *169*(5–6), 325–336. https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.011
34. Pourasadollahi, A., Siosemardeh, A., Hosseinpanahi, F., & Sohrabi, Y. (2020). Effect of spraying of growth regulators on water use efficiency, some osmolites and physiological traits of potato in drought stress conditions. *Plant Process and Function*, *9*(35), 329–345.
35. Rady, M.M., & Mohamed, G.F. (2015). Modulation of salt stress effects on the growth, physio-chemical attributes and yields of *Phaseolus vulgaris* L. plants by the combined application of salicylic acid and *Moringa oleifera* leaf extract. *Scientia Horticulturae*, *193*, 105–113. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.003
36. Rahimi, H., Eshghizadeh, H.R., Razmjoo, J., Zahedi, M., Ghadiri, A., & Asadi, M. (2023). Evaluation of yield and some morpho-physiological characteristics of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Pulses Research*, *14*(1), 19–33. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v14i1.2206-1026
37. Saberali, S.F., Yosefi-fard, M., & Sadat Asilan, K. (2020). Effect of different level of irrigation regimes and nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency in kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, *11*(2), 137–149. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v11i2.79226
38. Sadeghipour, A., & Banekdar Hashemi, N. (2015). Study the effect of brassinolide application on drought tolerance of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Crop Physiology Journal*, *7*(26), 57–70. (In Persian with English abstract).
39. Safikhani, F., Sharifabadi Syadat, A., Ashorabadi, A., Syednedjad, M., & Abbaszadeh, B. (2007). The effect of drought on yield and morphological characteristics of *Deracocephalum moldvica* L. *Journal of Medicinal Plants Research*, *23*(2), 183–194. (In Persian with English abstract).
40. Shekari, F., Pakmehr, A., Rastgoo, M., Vazayefi, M., & Goreishi Nasab, M.J. (2010). Effect of salicylic acid seed priming on some physiological traits of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit at podding stage. *Journal of Crop Ecophysiology*, *13*(1), 13–30. (In Persian with English abstract).
41. Talaat, N.B. (2020). 24–Epibrassinolide and spermine combined treatment sustains maize (*Zea mays* L.) drought tolerance by improving photosynthetic efficiency and altering phytohormones profile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *20*, 516–529. https://doi.org/10.1007/s42729-019-00138-4
42. Timmons, D.R., Holt, R.F., & Thompson, R.L. (1967). Effect of plant population and row spacing on evapotranspiration and water-use efficiency by soybeans. *Agronomy Journal*, *59*(3), 262–265. https://doi.org/10.2134/agronj1967.00021962005900030018x
43. Upreti, K.K., & Murti, G.S.R. (2004). Effects of brassinosteroids on growth, nodulation, phytohormone content and nitrogenase activity in French bean under water stress. *Biologia Plantarum*, *48*(3), 407–411. https://doi.org/10.1023/B:BIOP.0000041094.13342.1b
44. Wondimu, W.G., & Tana, T. (2017). Yield response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties to combined application of nitrogen and phosphorus fertilizers at Mechara, Eastern Ethiopia. *Journal of Plant Biology and Soil Health*, *4*(2), 1–7. https://doi.org/10.13188/2331-8996.1000018

45. Yeganehpoor, F., Zehtab-Salmasi, S., Shafagh-Kelvanagh, J., & Ghassemi Golezani, K. (2015). Effect of drought stress chemical and biofertilizer and salicylic acid on grain yield and yield components of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Crop Production*, *9*(4), 37–55. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2017.8717.1672
46. Zafari, M., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., & Sedghi, M. (2020). Safflower (*Carthamus tinctorius*) biochemical properties, yield, and oil content affected by 24-epibrassinosteroid and genotype under drought stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *68*(22), 6040–6047. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06860
47. Zahedipour-Sheshglani, P., & Asghari, M. (2020). Impact of foliar spray with 24-epibrassinolide on yield, quality, ripening physiology and productivity of the strawberry. *Scientia Horticulturae*, *268*, 109376. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109376
48. Zhang, M., Zhai, Z., Tian, X., Duan, L., & Li, Z. (2008). Brassinolide alleviated the adverse effect of water deficits on photosynthesis and the antioxidant of soybean (*Glycine max* L.). *Plant Growth Regulation*, *56*, 257–264. https://doi.org/10.1007/s10725-008-9305-4
49. Zhao, X., Shi, J., Niu, Y., Lu, P., Chen, X., & Mao, T. (2022). 24-epibrassinolide alleviates aluminum toxicity by improving leaf chlorophyll fluorescence and photosynthetic performance and root antioxidant-oxidant balance and ascorbate-glutathione cycle in maize. *Russian Journal of Plant Physiology*, *69*(5), 99. https://doi.org/10.1134/s1021443722050247

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 3, 2025, p. 491-507

Evaluation of Quality Characteristics and Yield of some Commercial Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Cultivars in Hamedan Province (Nahavand and Asadabad)

Hamed Mansouri[1*], Valiallah Yousefabadi[2], Hamze Hamze[1] and Heydar Azizi[3]

1- Sugar Beet Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran
2- Sugar Beet Seed Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3- Sugar Beet Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran
(*- Corresponding author's Email: h.mansori@areeo.ac.ir)

Received: 18-05-2025
Revised: 20-09-2025
Accepted: 23-09-2025
Available Online: 26-11-2025

How to cite this article:
Mansouri, H., Yousefabadi, V., Hamze, H., & Azizi, H. (2025). Evaluation of quality characteristics and yield of some commercial sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars in Hamedan Province (Nahavand and Asadabad). *Journal of Agroecology*, *17*(3), 491-507. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.93586.1240

Introduction

Sugar beet is the main source of sugar production in Iran, accounting for approximately 60% of the country's sugar production comes. The rest comes from sugar cane (Ribeiro et al., 2016). Hamedan province, with a cultivated area of about 7 percent of the total cultivated area of the country, is one of the most important provinces in terms of sugar beet cultivation and sugar production. Nahavand and Asadabad regions also have the largest cultivated area of sugar beet in Hamedan Province and are considered the most important sugar beet cultivation areas in the province. Seed is a crucial agricultural input. It provides farmers with significant added value by improving the efficiency of other inputs, such as water, fertilizer, pesticides, and machinery. Maximizing yield is impossible without using the right seeds, even with significant energy investment (Sadeghzadeh Hemayati et al., 2024). The primary aim of conducting variety comparison experiments is to select and introduce suitable varieties to farmers in each region, this study was conducted to compare sugar beet varieties and introduce the best variety in the Nahavand and Asadabad regions of Hamedan province.

Materials and Methods

To evaluate the root yield and quality characteristics of some breeding commercial sugar beet varieties in Hamedan province, an experiment was conducted in two regions: Asadabad-Vanderabad Village and Nahavand-Gyan Village, in 2023, under farm conditions. The study included five Iranian commercial cultivars—Sina, Nika, Shokofa, Asia, and Dena—as well as a foreign cultivar, Urslina, which served as the control. Planting took place in Nahavand on March 10, 2022, and in Asadabad on April 15, 2023. A total of 30 planting lines, each measuring 300 meters in length and spaced 50 centimeters apart, were allocated for each cultivar. Each cultivar was planted in an area of 4,500 square meters. The farmer carried out all land preparation and farm management

Authors retain the copyright.This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.93586.1240

operations in accordance with local customs. At the end of the growing season, four samples (as four replicates) of each variety were randomly harvested and weighed, and root yield was obtained. The harvested roots were washed, pulped, and sent to the Sugar Technology Laboratory at the Sugar Beet Seed Institute for quality characteristic measurement. Cluster analysis and factor analysis were performed using R v.4.2.2 software.

Results and Discussion

Because of the significant interaction effect between cultivar and environment, which indicated independent responses of cultivars in the two different locations, all data analyses were performed separately for each site. In Nahavand, the highest sugar content and white sugar content were observed with 18.24 and 15.87 percent, respectively, and the highest sugar yield and white sugar yield were observed with 19.29 and 16.79 ton.ha^{-1}, respectively, in the foreign cultivar Urslina. Among the Iranian cultivars, the two cultivars Dena and Asia had the highest yield. In Asadabad, results showed that the foreign cultivar Urslina had the highest values among the studied cultivars in terms of sugar content (18.29%), sugar yield (19.80 ton.ha^{-1}), white sugar content (16.17%), white sugar yield (17.51 ton.ha^{-1}), and sugar extraction coefficient (88.4%). Cluster analysis results indicated that the cultivars were grouped into three clusters in Nahavand and four clusters in Asadabad. Based on the results of the cluster analysis conducted in the Nahavand environment, two clusters were introduced as superior clusters. The first cluster included the Urslina variety, while the second cluster comprised the Dena, Asia, and Shokofa varieties. In the Asadabad environment, the first cluster also included the Urslina variety, and the fourth cluster contained the Nika variety, both of which were recognized as superior clusters. Factor analysis identified two significant factors, explaining 95.57% of the variation in Nahavand and 95.94% in Asadabad.

Conclusion

Overall, the Urslina cultivar emerged as the superior cultivar in both environments. Among the Iranian cultivars, the Dena and Asia cultivars were recommended for the Nahavand environment, while the Nika cultivar was suggested for the Asadabad environment due to their better quantitative and qualitative characteristics.

Keywords: Biplot, Cluster analysis, Commercial cultivar, Factor analysis, Sugar yield

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱٤۰٤، ص ۵۰۷-٤۹۱

ارزیابی خصوصیات کیفی و عملکرد برخی از ارقام تجاری چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در استان همدان (نهاوند و اسدآباد)

حامد منصوری [۱*]، ولی اله یوسف آبادی [۲]، حمزه حمزه [۱] و حیدر عزیزی [۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

چکیده

به‌منظور ارزیابی عملکرد ریشه و خصوصیات کیفی برخی از ارقام تجاری اصلاح‌شده چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در استان همدان، آزمایشی در دو منطقه اسدآباد و نهاوند در سال ۱۴۰۲ در مزرعه کشاورز انجام شد. ارقام مورد بررسی شامل پنج رقم تجاری اصلاح‌شده داخلی شامل ارقام سینا، نیکا، شکوفا، آسیا و دنا به همراه یک رقم شاهد خارجی اورسلینا بود. نتایج تحقیق نشان داد که در هر دو محیط نهاوند و اسدآباد، رقم خارجی اورسلینا از بالاترین خصوصیات کیفی و عملکرد شکر برخوردار بود. در بین ارقام داخلی، ارقام دنا و سینا در منطقه نهاوند و رقم نیکا در منطقه اسدآباد از عملکرد قند بیشتری نسبت به سایر ارقام تولید کردند. براساس نتایج تجزیه خوشه‌ای در محیط نهاوند خوشه اول شامل رقم اورسلینا و خوشه دوم شامل ارقام دنا، آسیا و شکوفا و در محیط اسدآباد خوشه اول که اورسلینا و خوشه چهارم که رقم نیکا را شامل می‌شدند به‌عنوان خوشه‌های برتر انتخاب شدند. براساس تجزیه به عامل‌ها، دو عامل با تبیین ۹۵/۵۷ و ۹۵/۹۴ درصد از تغییرات داده‌ها به‌ترتیب برای نهاوند و اسدآباد شناسایی شدند. به‌طور کلی، با توجه به نتایج رقم اورسلینا به‌عنوان رقم برتر در هر دو محیط انتخاب شد. در بین ارقام داخلی نیز برای مکان نهاوند ارقام دنا و آسیا و برای مکان اسدآباد رقم نیکا به‌عنوان ارقام با خصوصیات کمّی و کیفی بهتر معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: بای پلات، تجزیه به عامل‌ها، تجزیه خوشه‌ای، رقم تجاری، عملکرد قند

مقدمه

چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) یکی از گیاهان زراعی و صنعتی مهم است که عمده مصرف آن در صنعت قند بوده (Akyüz & Ersus, 2021) و بعد از گیاه نیشکر به‌عنوان یکی از منابع مهم تولید شکر در جهان محسوب می‌شود (Monteiro et al., 2018). تخمین زده می‌شود که حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد تولید شکر جهانی از چغندرقند تأمین می‌شود (Kuska et al., 2020; Ribeiro et al., 2016; Sarica, 2024). چغندرقند منبع اصلی تولید شکر در ایران بوده و تقریباً ۶۰ درصد تولید شکر کشور از این گیاه و مابقی از نیشکر می‌باشد. در سال ۱۴۰۲، سطح برداشت چغندرقند معادل ۱۰۶۷۶۳ هکتار از ۱۲ استان کشور گزارش شده است که از این سطح، ۸۲۴۳۰ هکتار مربوط به کشت بهاره و ۲۴۳۳۳ هکتار مربوط به کشت پاییزه بوده است (SBSI, 2023). استان همدان با سطح زیر کشت حدود هفت درصد از کل سطح زیرکشت کشور، یکی از استان‌های مهم از لحاظ زراعت چغندرقند و تولید شکر می‌باشد. مناطق نهاوند و اسدآباد نیز بیشترین سطح زیرکشت چغندرقند در استان همدان را داشته و مهم‌ترین مناطق کشت چغندرقند در استان محسوب می‌شوند.

انتخاب رقم مناسب، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در مدیریت کشاورزی است که می‌تواند با تأثیر بر بازدهی دیگر نهاده‌های

۱- بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
۲- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: h.mansori@areeo.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.93586.1240

کشاورزی از جمله آب، کود، آفت‌کش‌ها و ماشین‌آلات، بیشترین ارزش افزوده را در اختیار کشاورزان قرار دهد. بنابراین به‌منظور انتخاب ارقام مناسب، باید خصوصیات کمّی و کیفی رقم با توجه به شرایط اقلیمی منطقه مدنظر قرار گرفته و در سطح وسیع‌تر و به‌صورت میدانی انجام گیرد. بنابراین آزمایشات میدانی مربوط به مقایسه ارقام چغندرقند در کشورهایی که کشت‌وکار چغندرقند در آن‌ها رواج دارد، در مزرعه کشاورز انجام می‌شود. در ایران نیز با توجه به اینکه ارقام مناسب اصلاح‌شده چغندرقند داخلی توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند تهیه می‌گردد، انجام آزمایشات پایلوت مقایسه ارقام به‌منظور ترویج و معرفی ارقام مناسب جهت کشت در هر منطقه ضروری می‌باشد.

تجزیه به عامل‌ها یکی از روش‌های آماری چند متغیره است که به‌منظور توصیف رابطه بین متغیرها از طریق عامل‌ها و همچنین کاهش حجم اطلاعات و داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش، عواملی که سبب ایجاد همبستگی بین صفات مختلف می‌شوند، شناسایی و براساس این عوامل، متغیرها به دسته‌های با همبستگی بالا گروه‌بندی می‌شوند (Farshadafar, 2005). تجزیه خوشه‌ای نیز یکی دیگر از روش‌های آماری است که معمولاً به‌منظور گروه‌بندی افراد و متغیرها در خوشه‌های مختلف براساس نزدیکی و شباهت بین افراد انجام می‌شود (Leonard & Droege, 2008). در این روش به‌دلیل اینکه هر فرد یا نمونه با وزن یکسان در محاسبات در نظر گرفته می‌شود، بنابراین هم از خصوصیات کیفی و هم از خصوصیات کمّی می‌توان استفاده کرد. مطالعات مختلفی در خصوص استفاده از روش‌های تجزیه به عامل‌ها و تجزیه خوشه‌ای برای انتخاب و گروه-بندی ارقام چغندرقند استفاده شده است. صادق‌زاده حمایتی و همکاران (Sadeghzadeh Hemayati et al., 2024) به‌منظور گروه بندی ارقام مختلف چغندرقند در کرمانشاه از روش تجزیه خوشه‌ای استفاده و ۱۲ رقم چغندرقند را به سه گروه دسته‌بندی کردند که ارقام ایرانی دنا، سینا، اکباتان و شریف به همراه دو رقم خارجی بی تی اس ۴۶۶۵ و گکو در یک گروه قرار گرفته و از خصوصیات کمّی و کیفی پایین‌تری نسبت به گروه دیگر (شامل ارقام خارجی اورسلینا، کادموس و فلورس) برخوردار بودند. هو و همکاران (Hu et al., 2019) در بررسی ۱۴ ژنوتیپ چغندرقند در چین از دو روش آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و همچنین تجزیه خوشه‌ای به‌منظور گروه‌بندی واریته‌ها براساس صفات مختلف استفاده کردند و چهار مؤلفه اصلی را شناسایی کردند که در مجموع ۹۱/۸ درصد از تغییرات داده‌ها را تبیین کردند. همچنین براساس تجزیه خوشه‌ای، ۱۴ ژنوتیپ چغندرقند به چهار گروه دسته‌بندی شدند. جیا و همکاران (Jia et al., 2015) نیز با استفاده از تجزیه به عامل‌ها و تجزیه خوشه‌ای، ۳۴ واریته چغندرقند را گروه‌بندی و مقایسه کردند. چهارده ژنوتیپ چغندرقند نیز از لحاظ خصوصیات کیفی با استفاده از تجزیه به عامل‌ها از طریق تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مورد مطالعه قرار گرفتند (Hu et al., 2016). با توجه به اینکه هدف اصلی از انجام آزمایشات مقایسه ارقام، انتخاب و معرفی رقم مناسب به کشاورزان در هر منطقه می‌باشد، این مطالعه به‌منظور مقایسه ارقام چغندرقند و معرفی برترین رقم در مناطق نهاوند و اسدآباد استان همدان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی عملکرد ریشه و خصوصیات کیفی برخی از ارقام تجاری اصلاح‌شده چغندرقند در استان همدان، آزمایش به‌صورت بلوک کاملاً تصادفی و در چهار تکرار در دو منطقه شهرستان اسدآباد روستای وندرآباد و شهرستان نهاوند روستای گیان در سال ۱۴۰۲ در مزرعه کشاورز انجام شد. ارقام تجاری مورد بررسی شامل پنج رقم اصلاح‌شده داخلی شامل ارقام شکوفا (مقاوم به *ریزومانیا* و نماتد، سال معرفی ۱۳۹۴)، دنا (مقاوم به *ریزومانیا* و *ریزوکتونیا*، سال معرفی ۱۳۹۷)، سینا (مقاوم به *ریزومانیا* و *ریزوکتونیا*، سال معرفی ۱۳۹۷)، نیکا (مقاوم به *ریزومانیا* و نماتد، سال معرفی ۱۳۹۹)، آسیا (مقاوم به *ریزومانیا* و نماتد، سال معرفی ۱۳۹۹) به همراه یک رقم شاهد خارجی اورسلینا (مقاوم به *ریزومانیا* و *ریزوکتونیا*، سال معرفی ۱۳۹۹) بود. کشت در منطقه نهاوند در تاریخ ۲۰ اسفند ماه سال ۱۴۰۱ و در در منطقه اسدآباد در تاریخ ۱۵ فروردین ماه سال ۱۴۰۲ با استفاده از دستگاه پنوماتیک شش ردیفه انجام شد. تعداد ۳۰ خط کاشت به‌طول ۳۰۰ متر و فاصله بین ردیف‌های کشت ۵۰ سانتی‌متر برای هر رقم در نظر گرفته شده و هر رقم در مساحتی معادل ۴۵۰۰ مترمربع کشت گردید. مراحل آماده‌سازی زمین و کلیه عملیات داشت و مدیریت مزرعه توسط کشاورز و منطبق با عرف منطقه انجام شد. قبل از کاشت نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش انجام گرفت. نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در نهاوند و اسدآباد

Table 1- Physical and chemical characteristics of the experiment soil in Nahavand and Asadabad

مکان Place	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	pH	ماده آلی Organic materials (%)	فسفر P (mg.kg^{-1})	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	نیتروژن N (%)	بافت Texture
نهاوند Nahavand	1.9	7.5	1.8	17	499	0.18	لوم-سیلتی Silty-loam
اسدآباد Asadabad	2.1	7.7	1.1	12.8	355	0.11	لوم-سیلتی Silty-loam

آبیاری مزرعه در هر دو منطقه به‌صورت بارانی انجام شد. به‌منظور مهار علف‌های هرز از علف‌کش بتانال پروگرس (فن مدیفام + دس مدیفام + اتوفومازیت) به‌میزان چهار لیتر در هکتار و در مرحله چهار برگی، وجین (یک مرحله) در مرحله ۱۲ برگی و کولتیواتور استفاده شد. عملیات کوددهی براساس آزمون خاک و از منابع کودی اوره (نهاوند ۳۰۰ و اسدآباد ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار)، پتاسیم سولفات (اسدآباد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و فسفات آمونیوم (نهاوند ۱۵۰ و اسدآباد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) استفاده شد. همچنین در اواخر فصل رشد از کود سولوپتاس در هر دو منطقه استفاده شد. در پایان فصل رشد و همزمان با برداشت نهایی، از هر رقم تعداد چهار نمونه (به‌عنوان چهار تکرار) به‌صورت تصادفی برداشت و توزین شده و عملکرد ریشه به دست آمد. برداشت و نمونه‌برداری در منطقه نهاوند در تاریخ ۱۷ آبان ماه و در منطقه اسدآباد در ۲۸ شهریور ماه انجام شد. ریشه‌های برداشت‌شده پس از شستشو خمیرگیری شده و جهت اندازه گیری خصوصیات کیفی به آزمایشگاه تکنولوژی قند مؤسسه تحقیقات چغندرقند ارسال شدند. صفات کیفی مورد اندازه‌گیری شامل درصد قند (SC)، میزان سدیم (Na)، پتاسیم (K) و نیتروژن مضره (N) بود. سایر صفات شامل آلکالیته (Alc)، درصد قند ملاس (MS)، درصد قند سفید (WSC)، عملکرد قند (SY)، عملکرد قند سفید (WSY) و همچنین ضریب استحصال قند (ECS) با استفاده از روابط زیر به دست آمد (Taleghani et al., 2023).

معادله (۱) $$Alc = \frac{(Na+K)}{N}$$

$$MS = 0.343 \times (K + Na) + 0.094 \times (N) - 0.31$$ معادله (۲)

معادله (۳) $$WSC = SC - (MS + 0.6)$$

معادله (۴) $$SY = RY \times SC$$

معادله (۵) $$WSY = RY \times WSC$$

معادله (۶) $$ECS = \left(\frac{WSC}{SC}\right) \times 100$$

به‌منظور انجام تجزیه مرکب، آزمون یکنواختی واریانس محیط‌ها برای صفات مختلف با استفاده از آزمون بارتلت انجام شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 و مقایسه میانگین‌ها به‌روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) صورت گرفت. جهت گروه‌بندی ارقام از روش تجزیه خوشه‌ای داده‌ها (با استفاده از فاصله اقلیدسی به‌روش Single) استفاده گردید (Mansouri et al., 2024b). برش دندوگرام به‌صورتی انجام شد که بیشترین شباهت درون گروهی و بیشترین تفاوت بین گروهی حاصل شود. برای این منظور از مقایسه واریانس بین گروهی و درون گروهی در حالت‌های مختلف برش دندوگرام استفاده شد تا بیشترین مقدار F حاصل گردد. تجزیه به عامل‌ها نیز براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد. در تجزیه به عامل‌ها، عامل‌های با مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک انتخاب و تخصیص صفات به عامل‌های مختلف نیز براساس مقادیر ضرایب عاملی بعد از انجام چرخش واریماکس عامل‌ها صورت گرفت. به این ترتیب که ضرایب عاملی بزرگ‌تر از ۰/۵ بدون توجه به علامت مربوطه به‌عنوان ضرایب عاملی معنی‌دار در نظر گرفته شدند (Mansouri et al., 2024b). تجزیه به عامل‌ها و ترسیم نمودارها با استفاده از بسته factoextra در نرم‌افزار R v.4.2.2 انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

نتایج آزمون بارتلت نشان داد که واریانس دو محیط در اکثر صفات به‌جز صفات پتاسیم و نیتروژن مضره یکنواخت بود (جدول ۲) و بنابراین امکان تجزیه مرکب وجود داشت. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها در دو مکان نشان داد که اثر مکان در اکثر صفات مورد بررسی به‌غیر از عملکرد ریشه و ضریب استحصال قند و اثر رقم

به‌غیر از عملکرد ریشه در تمام صفات معنی‌دار بود. اثر متقابل رقم در مکان در تمام صفات به‌جز عملکرد ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳). بنابراین با توجه به معنی‌داری اثر متقابل رقم در مکان که نشان‌دهنده واکنش مستقل ارقام در دو مکان مختلف بود، مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در مکان به‌صورت برش‌دهی انجام و در هر مکان، ارقام به‌صورت جداگانه مقایسه و بررسی شدند. صادق‌زاده حمایتی و همکاران (Sadeghzadeh Hemayati et al., 2024) نیز در بررسی ارقام مختلف چغندرقند در مکان‌های مختلف گزارش کردند که اثر متقابل رقم در مکان بر اکثر صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. معنی‌داری اثرمتقابل رقم در مکان در ژنوتیپ‌های چغندرقند در برخی تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است (Mostafavi et al., 2017 ; Hassani et al., 2022; Taleghani et al., 2023).

جدول ۲- آزمون یکنواختی واریانس (آزمون بارتلت) دو محیط نهاوند و اسدآباد برای صفات چغندرقند

Table 2- Homogeneity of variance analysis (Bartlett's test) in two environments of Nahavand and Asadabad for traits of sugar beet

منابع تغییرات S.O.V	عملکرد ریشه RY	درصد قند SC	عملکرد قند SY	سدیم Na	پتاسیم K	نیتروژن N	آلکالیته Alc	درصد قند سفید WSC	عملکرد قند سفید WSY	ضریب استحصال قند ECS	قند ملاس Ms
کای-اسکور Chi-square	0.121	0.134	0.115	1.18	7.50	20.1	1.97	0.091	0.055	0.208	1.12
مقدار-p p-value	0.758	0.714	0.735	0.276	0.006	<0.001	0.215	0.763	0.814	0.648	0.290

RY: عملکرد ریشه؛ SC: درصد قند؛SY : عملکرد قند؛ Na : سدیم؛ K : پتاسیم؛ N: نیتروژن؛ Alc : آلکالیته؛ WSC : درصد قند سفید؛ WSY : عملکرد قند سفید؛ECS : ضریب استحصال قند؛ Ms: قند ملاس.

RY: root yield; SC: sugar content; SY: sugar yield; Na: Sodium; K: Potassium; N: Nitrogen; Alc: Alkalinity; WSC: white sugar content; WSY: white sugar yield; ECS: extraction coefficient of sugar; Ms: molasses sugar

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مرکب برای صفات کمّی و کیفی چغندرقند در دو محیط نهاوند و اسدآباد

Table 3- Combined variance analysis for quantitative and qualitative characteristics of sugar beet in two environments of Nahavand and Asadabad

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد ریشه RY	درصد قند SC	عملکرد قند SY	سدیم Na	پتاسیم K	نیتروژن N	آلکالیته Alc	درصد قند سفید WSC	عملکرد قند سفید WSY	ضریب استحصال قند ECS	قند ملاس Ms
مکان Place (P)	1	63.9ns	16.7**	10.8**	1.03**	14.1**	0.79**	4.03*	10.4**	6.98*	0.28ns	0.74**
خطا Error 1	6	102	0.09	1.83	0.005	0.08	0.03	0.15	0.14	1.16	0.93	0.01
رقم Cultivar (C)	5	111ns	21.1**	24.9**	3.41**	1.97**	1.26**	5.32**	27.9**	31.7**	94.9**	0.88**
C×P	5	167ns	5.9**	16.5**	2.7**	0.33**	0.78**	1.23**	9.98**	20.1**	71.4**	0.64**
خطا Error 2	30	92.4	0.09	1.90	0.03	0.04	0.01	0.07	0.11	1.30	0.73	0.01
ضریب تغییرات CV (%)	-	8.92	2.01	8.43	5.86	5.19	5.71	7.46	2.73	8.55	1.05	4.63

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant, significant at the 1% and 5% probability level, respectively.

RY: عملکرد ریشه؛ SC: درصد قند؛SY : عملکرد قند؛ Na : سدیم؛ K : پتاسیم؛ N: نیتروژن؛ Alc : آلکالیته؛ WSC : درصد قند سفید؛ WSY : عملکرد قند سفید؛ECS : ضریب استحصال قند؛ Ms: قند ملاس.

RY: root yield; SC: sugar content; SY: sugar yield; Na: Sodium; K: Potassium; N: Nitrogen; Alc: Alkalinity; WSC: white sugar content; WSY: white sugar yield; ECS: extraction coefficient of sugar; Ms: molasses sugar

محیط نهاوند

مقایسه میانگین ارقام از لحاظ عملکرد ریشه نشان داد که علی رغم اینکه اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری بین ارقام مختلف وجود نداشت، ولی بیشترین عملکرد ریشه مربوط به ارقام آسیا و شکوفا با ۱۱۳ تن در هکتار و کمترین مقدار مربوط به رقم سینا با ۹۷/۷ تن در هکتار بود (جدول ۴). بیشترین درصد قند و درصد قند سفید به‌ترتیب با ۱۸/۲۴ و ۱۵/۸۷ درصد و بیشترین عملکرد قند و عملکرد قند سفید به‌ترتیب با ۱۹/۲۹ و ۱۶/۷۹ تن در هکتار در رقم شاهد خارجی اورسلینا مشاهده شد. در بین ارقام داخلی نیز دو رقم دنا (با ۱۷/۲۸ درصد قند، ۱۴/۳۹ درصد قند سفید، ۱۸/۸۴ تن در هکتار عملکرد قند و ۱۵/۷۰ تن در هکتار عملکرد قند سفید) و آسیا (با ۱۶/۱۶ درصد قند، ۱۳/۵۲ درصد قند سفید، ۱۸/۴۱ تن در هکتار عملکرد قند و ۱۵/۴۰ تن در هکتار عملکرد قند سفید) بیشترین عملکرد را داشتند، درحالی‌که رقم نیکا از کمترین درصد قند، درصد قند سفید، عملکرد قند و عملکرد قند سفید به‌ترتیب با ۱۳/۷۰ درصد، ۱۰/۲۹ درصد، ۱۳/۷۲ تن در هکتار و ۱۰/۲۹ تن در هکتار برخوردار بود (جدول ۴). ارقام اورسلینا و نیکا نیز به‌ترتیب با ۸۷/۰ و ۷۵/۱ درصد، بالاترین و کمترین ضریب استحصال قند را به خود اختصاص دادند.

جدول ٤- مقایسه میانگین ارقام مختلف چغندرقند از لحاظ خصوصیات کمّی و کیفی در دو محیط نهاوند و اسدآباد

Table 4- Mean comparison of different sugar beet cultivars in terms of quantitative and qualitative characteristics in two environments of Nahavand and Asadabad

محیط Environment	رقم Cultivar	عملکرد ریشه RY ($t.ha^{-1}$)	درصد قند SC (%)	عملکرد قند SY ($t.ha^{-1}$)	سدیم Na ($meq.g^{-1}$)	پتاسیم K($meq.g^{-1}$)	نیتروژن N ($meq.g^{-1}$)
نهاوند Nahavand	سینا Sina	97.7±3.36	14.86±0.14	14.52±0.48	3.46±0.04	4.48±0.04	2.23±0.02
	نیکا Nika	100.2±5.05	13.70±0.07	13.72±0.64	4.09±0.07	4.50±0.07	1.89±0.05
	شکوفا Shokofa	113.1±5.98	14.36±0.13	16.22±0.72	3.08±0.06	4.33±0.04	1.97±0.08
	آسیا Asia	113.9±6.14	16.16±0.07	18.41±0.97	2.12±0.08	4.32±0.10	1.53±0.06
	دنا Dena	109.1±4.22	17.28±0.14	18.84±0.75	2.00±0.08	5.06±0.15	1.85±0.02
	اورسلینا Urselina	105.8±3.44	18.24±0.19	19.29±0.52	1.60±0.07	3.98±0.09	1.79±0.06
LSD 5%		14.11	0.378	2.08	0.219	0.282	0.156
اسدآباد Asadabad	سینا Sina	108.5±2.92	14.06±0.19	15.25±0.41	3.52±0.08	3.29±0.02	2.81±0.08
	نیکا Nika	110.9±6.11	14.79±0.17	16.40±0.92	2.39±0.04	2.94±0.09	0.97±0.04
	شکوفا Shokofa	113.8±5.76	13.21±0.17	15.04±0.78	3.50±0.05	3.25±±0.21	2.29±0.10
	آسیا Asia	99.7±6.41	13.34±0.26	13.26±0.69	3.22±0.14	3.00±0.01	1.92±0.03
	دنا Dena	112.6±3.53	13.83±0.10	15.57±0.56	3.69±0.10	4.70±0.18	2.77±0.08
	اورسلینا Urselina	108.3±3.15	18.29±0.04	19.80±0.57	1.78±0.04	2.97±0.06	2.07±0.06
LSD 5%		14.86	0.527	2.07	0.284	0.327	0.188

مقایسه میانگین به‌روش برش‌دهی اثر متقابل انجام شده و در هر محیط، ارقام جداگانه مقایسه شده‌اند.

Mean comparison was performed by slicing interaction and cultivars was separately compared in each environment.

RY: عملکرد ریشه؛ SC: درصد قند؛ SY : عملکرد قند؛ Na : سدیم؛ K : پتاسیم؛ N: نیتروژن

RY: root yield; SC: sugar content; SY: sugar yield; Na: Sodium; K: Potassium; N: Nitrogen

ادامه جدول ٤- مقایسه میانگین ارقام مختلف چغندرقند از لحاظ خصوصیات کمّی و کیفی در دو محیط نهاوند و اسدآباد

Table 4- Mean comparison of different sugar beet cultivars in terms of quantitative and qualitative characteristics in two environments of Nahavand and Asadabad, continued

محیط Environment	رقم Cultivar	آلکالیته Alc	درصد قند سفید WSC (%)	عملکرد قند سفید WSY($t.ha^{-1}$)	ضریب استحصال قند ECS (%)	قند ملاس Ms (%)
نهاوند Nahavand	سینا Sina	3.57±0.06	11.64±0.17	11.37±0.38	78.3±0.37	2.63±0.03
	نیکا Nika	4.55±0.11	10.29±0.08	10.29±0.44	75.1±0.26	2.82±0.03
	شکوفا Shokofa	3.77±0.12	11.35±0.11	12.81±0.56	79.0±0.24	2.42±0.04
	آسیا Asia	4.21±0.09	13.52±0.09	15.40±0.78	83.6±0.39	2.04±0.06
	دنا Dena	3.80±0.08	14.39±0.18	15.70±0.65	83.3±0.49	2.28±0.07
	اورسلینا Urselina	3.13±0.14	15.87±0.22	16.79±0.48	87.0±0.37	1.77±0.05
LSD 5%		0.303	0.455	1.69	1.15	0.154
اسدآباد Asadabad	سینا Sina	2.44±0.10	11.18±0.22	12.11±0.36	79.4±0.44	2.29±0.03
	نیکا Nika	5.55±0.28	12.58±19	13.95±0.78	85.0±0.32	1.61±0.02
	شکوفا Shokofa	2.98±0.23	10.39±0.19	11.83±0.62	78.6±0.58	2.22±0.06
	آسیا Asia	3.24±0.07	10.74±0.26	10.67±0.52	80.5±0.53	2.00±0.05
	دنا Dena	3.04±0.18	10.40±0.17	11.72±0.49	75.2±0.74	2.83±0.09
	اورسلینا Urselina	2.31±0.05	16.17±0.03	17.51±0.51	88.4±0.12	1.52±0.02
LSD 5%		0.476	0.557	1.75	1.41	0.153

مقایسه میانگین به‌روش برش‌دهی اثر متقابل انجام شده و در هر محیط ارقام جداگانه مقایسه شده‌اند.

Mean comparison was performed by slicing interaction and cultivars was separately compared in each environment.

Alc : آلکالیته؛ WSC : درصد قند سفید؛ WSY : عملکرد قند سفید؛ECS : ضریب استحصال قند؛ Ms : قند ملاس.

Alc: Alkalinity; WSC: white sugar content; WSY: white sugar yield; ECS: extraction coefficient of sugar; Ms: molasses sugar

از لحاظ مقدار ناخالصی‌ها، کمترین مقدار سدیم و پتاسیم به‌ترتیب با ۱/۶۰ و ۳/۹۸ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر در رقم خارجی اورسلینا مشاهده شد، درصورتی‌که بیشترین مقدار سدیم با ۴/۰۹ میلی اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر مربوط به رقم نیکا و بیشترین پتاسیم به‌مقدار ۵/۰۶ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر مربوط به رقم دنا بود. بیشترین میزان نیتروژن مضره (۲/۲۳ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر) به رقم سینا و کمترین میزان آن به رقم آسیا (۱/۵۳ میلی‌اکی-والان در ۱۰۰ گرم خمیر) اختصاص داشت. همچنین براساس نتایج، رقم خارجی اورسلینا کمترین درصد آلکالیته و ملاس (به‌ترتیب با ۳/۱۳ و ۱/۷۷ درصد) و رقم نیکا بیشترین مقادیر این صفات (به‌ترتیب با ۴/۵۵ و ۲/۸۲ درصد) را نشان دادند (جدول ۴).

محیط اسدآباد

در محیط اسدآباد نیز اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری بین ارقام مختلف مشاهده نشد، ولی بااین‌وجود بالاترین عملکرد ریشه مربوط به ارقام شکوفا با ۱۱۳/۸ تن در هکتار و دنا با ۱۱۲/۶ تن در هکتار و کمترین عملکرد ریشه در رقم آسیا با ۹۹/۷ تن در هکتار به دست آمد (جدول ۴). مقایسه میانگین تیمارها در محیط اسدآباد نشان داد که در بین ارقام مورد بررسی، رقم خارجی اورسلینا در صفات درصد قند (۱۸/۲۹ درصد)، عملکرد قند (۱۹/۸۰ تن در هکتار)، درصد قند سفید

(۱۶/۱۷ درصد)، عملکرد قند سفید (۱۷/۵۱ تن در هکتار) و ضریب استحصال قند (۸۸/۴ درصد) از بالاترین مقدار برخوردار بود.

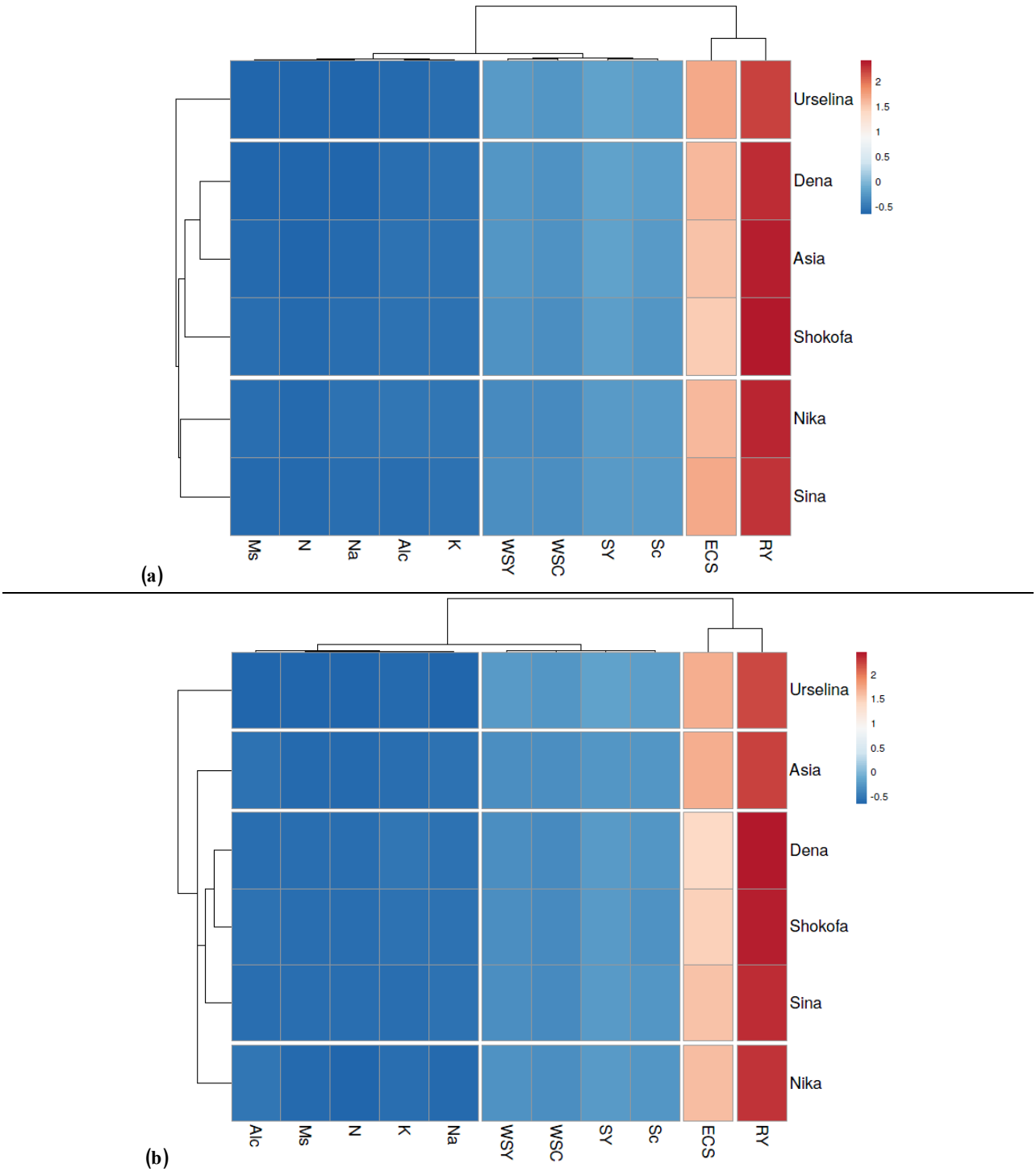
در بین ارقام داخلی نیز بالاترین مقادیر صفات مذکور به رقم نیکا اختصاص داشت. از لحاظ میزان ناخالصی‌های ریشه، کمترین مقدار سدیم با ۱/۷۸ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر در رقم اورسلینا و بالاترین مقدار در رقم دنا به‌میزان ۳/۶۹ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر مشاهده شد. رقم نیکا به‌ترتیب با ۲/۹۴ و ۰/۹۷ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر، کمترین میزان پتاسیم و نیتروژن مضره را در بین ارقام مورد مطالعه به خود اختصاص داد. همچنین در این مطالعه، کمترین درصد آلکالیته و ملاس به‌ترتیب با ۲/۳۱ و ۱/۵۲ درصد در رقم اورسلینا مشاهده شد، درحالی‌که بیشترین درصد آلکالیته با ۵/۵۵ درصد در رقم نیکا و بیشترین درصد ملاس با ۲/۸۳ درصد در رقم دنا به دست آمد (جدول ۴).

تجزیه خوشه‌ای

در شکل ۱، دندوگرام نقشه حرارتی تجزیه خوشه‌ای ارقام تجاری چغندرقند و همچنین صفات کمّی و کیفی مورد مطالعه در دو محیط نهاوند و اسدآباد نشان داده شده است. براساس نتایج تجزیه واریانس برش دندوگرام از فاصله شش در هر دو محیط، بالاترین مقدار F و بنابراین بیشترین نسبت واریانس بین گروه‌ها به درون گروه‌ها را فراهم نمود. بر این اساس، ارقام مورد بررسی در مکان نهاوند به سه گروه مجزا تقسیم شدند (شکل ۱-a، جدول ۵). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین گروه‌ها از لحاظ صفات عملکرد ریشه، درصد قند و عملکرد قند، درصد قند سفید و عملکرد قند سفید، ضریب استحصال قند و درصد قند ملاس در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۵). در خوشه اول، تنها رقم خارجی اورسلینا قرار داشت که این خوشه از درصد قند و عملکرد قند، درصد قند سفید و عملکرد قند سفید و ضریب استحصال قند بیشتری نسبت به دو خوشه دیگر و همچنین میانگین کل خوشه‌ها برخوردار بود (جدول ۵).

خوشه دوم شامل سه رقم دنا، آسیا و شکوفا بود (شکل ۱-a). ارقام دسته‌بندی‌شده در این خوشه دارای عملکرد ریشه، درصد قند و عملکرد قند، درصد قند سفید و عملکرد قند سفید، ضریب استحصال قند و درصد قند ملاس بالاتری نسبت به میانگین کل خوشه‌ها و خوشه سوم بود (جدول ۵). در نهایت، در خوشه سوم دو رقم نیکا و سینا دسته‌بندی شدند که در مقایسه با میانگین کل خوشه‌ها و همچنین دو خوشه دیگر از مقادیر پایین‌تری از لحاظ صفات مورد مطالعه، به‌غیر از صفت درصد ملاس برخوردار بودند (جدول ۵). بنابراین براساس نتایج تجزیه خوشه‌ای در محیط نهاوند، خوشه اول که شامل رقم اورسلینا بود به‌عنوان بهترین خوشه براساس صفات مورد مطالعه انتخاب شد. صادق زاده حمایتی و همکاران (Sadeghzadeh Hemayati et al., 2024) در بررسی ارقام مختلف چغندرقند در لرستان، ۱۲ رقم چغندرقند را براساس خصوصیات کمّی و کیفی با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به پنج دسته گروه‌بندی کردند. در تحقیقی دیگر براساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، ۴۴ هیبرید چغندرقند به همراه سه شاهد از ارقام تجاری به چهار گروه دسته‌بندی شدند و خوشه چهارم که شامل هفت هیبرید (هیبریدهای شماره ۲۰، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۳۱، ۳۷ و ۴۳) و دو شاهد خارجی ساکارا و بی-تی-اس ۲۱۳ بودند به‌عنوان بهترین خوشه از لحاظ صفات کمّی و کیفی معرفی شدند (Hassani et al., 2021).

تجزیه خوشه‌ای شش رقم تجاری چغندرقند براساس صفات کمّی و کیفی در مکان اسدآباد نیز نشان داد که ارقام به چهار گروه طبقه‌بندی شدند (شکل ۱-b). تجزیه واریانس از لحاظ صفات مورد بررسی نشان داد که بین گروه‌ها از نظر صفات عملکرد قند و عملکرد قند سفید در سطح احتمال یک درصد و در صفات درصد قند، میزان سدیم، نسبت آلکالیته و درصد قند سفید در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در گروه اول تنها رقم اورسلینا قرار داشت که از درصد قند، عملکرد قند، درصد قند سفید و عملکرد قند سفید بالاتر و آلکالیته و میزان سدیم کمتری نسبت به بقیه گروه‌ها و همچنین میانگین کل گروه‌ها برخوردار بود (جدول ۶). گروه دوم شامل رقم آسیا و گروه سوم نیز شامل سه رقم دنا، شکوفا و سینا بودند که ارقام قرارگرفته در این دو گروه درصد قند، عملکرد قند، درصد قند سفید و عملکرد قند سفید کمتری در مقایسه با میانگین کل خوشه‌ها داشتند. در نهایت در گروه چهارم فقط رقم نیکا قرار گرفت که رقم مذکور از نظر صفات درصد قند، عملکرد قند، آلکالیته، درصد قند سفید و عملکرد قند سفید از مقادیر بیشتر و از لحاظ محتوای سدیم از مقدار پایین‌تری درمقایسه با میانگین گروه‌ها برخوردار بود (جدول ۶). به‌طور کلی با توجه به نتایج تجزیه خوشه‌ای، در محیط اسدآباد خوشه اول که رقم اورسلینا و خوشه چهارم که رقم نیکا را شامل می‌شدند به‌عنوان خوشه‌های برتر از لحاظ صفات کمّی و کیفی انتخاب شدند.



شکل ۱- دندوگرام نقشه حرارتی حاصل از تجزیه خوشه‌ای ارقام تجاری و صفات کمّی و کیفی چغندرقند در نهاوند (a) و اسدآباد (b)

Fig. 1- Heat map dendrogram of cluster analysis for sugar beet cultivars and quantitative and qualitative characteristics in Nahavand (a) and Asadabad (b)

RY: عملکرد ریشه؛ SC: درصد قند؛ SY : عملکرد قند؛ Na : سدیم؛ K : پتاسیم؛ N: نیتروژن؛ Alc : آلکالیته؛ WSC : درصد قند سفید؛ WSY : عملکرد قند سفید؛ ECS : ضریب استحصال قند؛ Ms : قند ملاس.

RY: root yield; SC: sugar content; SY: sugar yield; Na: Sodium; K: Potassium; N: Nitrogen; Alc: Alkalinity; WSC: white sugar content; WSY: white sugar yield; ECS: extraction coefficient of sugar; Ms: molasses sugar

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) و مقایسه میانگین خوشه‌ها ازلحاظ صفات موردبررسی در نهاوند

Table 5- Variance analysis (mean of squares) and mean comparison clusters in terms of studied traits in Nahavand

	درجه آزادی df	عملکرد ریشه RY	درصد قند SC	عملکرد قند SY	سدیم Na	پتاسیم K	نیتروژن N	آلکالیته Alc	درصد قند سفید WSC	عملکرد قند سفید WSY	ضریب استحصال قند ECS	قند ملاس Ms
بین گروه‌ها Inter groups	2	103*	33.1*	11.85*	1.89ns	0.13ns	0.05ns	0.31ns	18.97*	24.32*	67.98*	0.32*
درون گروه‌ها Intra groups	3	5.61	1.67	1.22	0.299	0.12	0.05	0.20	1.93	1.88	6.23	0.03
گروه ۱ Cluster 1	-	106 b	18.24a	19.29a	1.60a	3.98a	1.79a	3.13a	15.87a	16.79a	86.9a	1.77c
گروه ۲ Cluster 2	-	112 a	15.93b	17.82a	2.40a	4.57a	1.78a	3.93a	13.09ab	14.64a	81.9ab	2.45b
گروه ۳ Cluster 3	-	98.9 c	14.28b	14.12b	3.77a	4.49a	2.06a	4.06a	10.96b	10.83b	76.7b	2.72a
میانگین Mean	-	106.6	15.77	16.83	2.72	4.44	1.88	3.84	12.84	13.73	81.05	2.33

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant, significant at the 1% and 5% probability level, respectively.

RY: عملکرد ریشه؛ SC: درصد قند؛SY : عملکرد قند؛ Na : سدیم؛ K : پتاسیم؛ N: نیتروژن؛ Alc : آلکالیته؛ WSC : درصد قند سفید؛ WSY : عملکرد قند سفید؛ECS : ضریب استحصال قند؛ Ms : قند ملاس.

RY: root yield; SC: sugar content; SY: sugar yield; Na: Sodium; K: Potassium; N: Nitrogen; Alc: Alkalinity; WSC: white sugar content; WSY: white sugar yield; ECS: extraction coefficient of sugar; Ms: molasses sugar

جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) و مقایسه میانگین خوشه‌ها ازلحاظ صفات مورد بررسی در اسدآباد

Table 6- Variance analysis (mean of squares) and mean comparison clusters in terms of studied traits in Asadabad

	درجه آزادی df	عملکرد ریشه RY	درصد قند SC	عملکرد قند SY	سدیم Na	پتاسیم K	نیتروژن N	آلکالیته Alc	درصد قند سفید WSC	عملکرد قند سفید WSY	ضریب استحصال قند ECS	قند ملاس Ms
بین گروه‌ها Inter groups	3	37ns	5.89*	7.85**	0.96*	0.30ns	0.71ns	2.24*	8.22*	10.1**	34.4ns	0.31ns
درون گروه‌ها Intra groups	2	7.88	0.193	0.071	0.011	0.682	0.084	0.109	0.205	0.043	5.05	0.111
گروه ۱ Cluster 1	-	108a	18.29a	19.80a	1.78c	2.97a	2.07a	2.31b	16.17a	17.51a	88.4a	1.52a
گروه ۲ Cluster 2	-	99.7a	13.34b	13.26d	3.22a	3.00a	1.92a	3.24b	10.74c	10.67d	80.5a	2.00a
گروه ۳ Cluster 3	-	111a	13.70b	15.29c	3.57a	3.75a	2.62a	2.82b	10.66c	11.89c	77.8a	2.45a
گروه ۴ Cluster 4		110a	14.79b	16.40b	2.39b	2.97a	0.97a	5.55a	12.58b	13.95b	85.0a	1.61a
میانگین Mean	-	108.9	14.59	15.88	3.02	3.36	2.14	3.26	11.91	12.96	81.2	2.08

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant, significant at the 1% and 5% probability level, respectively.

RY: عملکرد ریشه؛ SC: درصد قند؛SY : عملکرد قند؛ Na : سدیم؛ K : پتاسیم؛ N: نیتروژن؛ Alc : آلکالیته؛ WSC : درصد قند سفید؛ WSY : عملکرد قند سفید؛ECS : ضریب استحصال قند؛ Ms : قند ملاس.

RY: root yield; SC: sugar content; SY: sugar yield; Na: Sodium; K: Potassium; N: Nitrogen; Alc: Alkalinity; WSC: white sugar content; WSY: white sugar yield; ECS: extraction coefficient of sugar; Ms: molasses sugar

در مطالعه‌ای، ۴۷ لاین چغندرقند به همراه سه شاهد با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به سه دسته طبقه‌بندی شده و خوشه اول بـا داشـتن صفات بالاتر نسبت به میانگین کل خوشه‌ها و سایر خوشه‌ها به‌عنوان بهترین خوشه از لحـاظ صـفات مقاومـت بـه بیمـاری معرفـی شـدند (Mansouri et al., 2024a). فتوحی و همکـاران (Fotouhi et al., 2017) نیز ۳۷ ژنوتیپ چغندرقند را با استفاده از روش تجزیه خوشه به سه دسته تقسیم کردند و بیان داشتند که ژنوتیـپ HSF-883 در هـر دو محیط نرمال و تنش آبی دارای بالاترین خصوصیات کمّی و کیفی بود.

تجزیه به عامل‌ها و بای پلات

در تجزیه به عامل‌ها با اسـتفاده از روش تجزیـه بـه مؤلفـه‌هـای اصلی در هر دو محیط نهاونـد و اسـدآباد، دو عامـل بـا مقـادیر ویـژه بزرگ‌تر از یک انتخاب شدند.

جدول ۷- نتایج تجزیه عاملی براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (ضرایب، مقدار ریشه مشخصه و واریانس) در محیط نهاوند

Table 7- Factor analysis based on principal component analysis (coefficients, Eigenvalue and variance) in Nahavand environment

	مؤلفه ۱ PC1	مؤلفه ۲ PC2
عملکرد ریشه RY	0.273	-0.783
درصد قند SC	0.203	0.940
عملکرد قند SY	0.123	-0.982
سدیم Na	-0.994	0.008
پتاسیم K	-0.939	-0.256
نیتروژن N	-0.605	0.217
آلکالیته Alc	-0.669	-0.474
درصد قند سفید WSC	0.967	0.177
عملکرد قند سفید WSY	0.983	-0.058
ضریب استحصال قند ECS	0.991	0.089
قند ملاس Ms	-0.944	0.145
ضریب مشخصه Eigenvalue	4.748	1.694
واریانس Variance (%)	70.44	25.13
واریانس تجمعی Cumulative variance (%)	70.44	95.57

RY: عملکرد ریشه؛ SC: درصد قند؛ SY : عملکرد قند؛ Na : سدیم؛ K : پتاسیم؛ N: نیتروژن؛ Alc : آلکالیته؛ WSC : درصد قند سفید؛ WSY : عملکرد قند سفید؛ ECS : ضریب استحصال قند؛ Ms : قند ملاس.

RY: root yield; SC: sugar content; SY: sugar yield; Na: Sodium; K: Potassium; N: Nitrogen; Alc: Alkalinity; WSC: white sugar content; WSY: white sugar yield; ECS: extraction coefficient of sugar; Ms: molasses sugar

در نهاوند عامل اول ۷۰/۴۴ درصد و عامل دوم ۲۵/۱۳ درصد و در مجموع ۹۵/۵۷ درصد از کل تغییرات داده‌ها و در اسدآباد عامل اول و دوم به‌ترتیب با ۶۱/۶ و ۳۴/۳۴ درصد و در مجموع ۹۵/۹۴ درصد از کل تغییرات را تبیین نمودند (جدول های ۷ و ۸). تخصیص صفات مورد مطالعه به عامل‌های مختلف براساس مقادیر ضرایب عاملی بعد از انجام چرخش واریماکس عامل‌ها صورت گرفت. به این ترتیب که ضرایب عاملی بزرگ‌تر از ۰/۵ بدون توجه به علامت مربوطه به‌عنوان ضرایب عاملی معنی‌دار در نظر گرفته شدند.

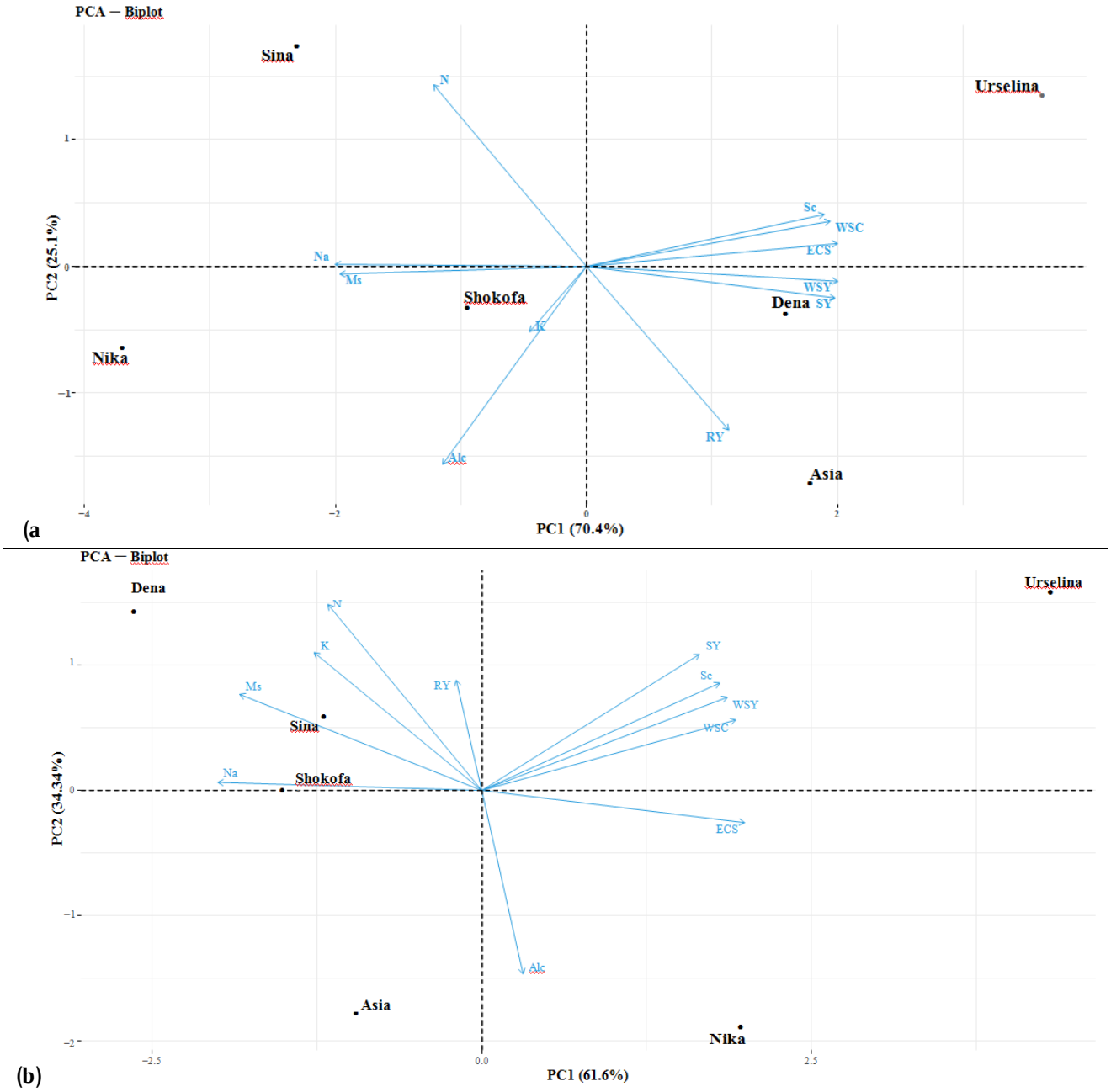
تجزیه عاملی براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در محیط نهاوند نشان داد که عامل اول با ضریب مشخصه ۴/۷۴۸، بیشترین مقدار از تغییرات داده‌ها را تبیین کرده (۷۰/۴۴ درصد) و دارای ضرایب معنی‌دار و مثبت برای صفات درصد قند سفید، عملکرد قند سفید و ضریب استحصال قند و ضریب منفی و معنی‌دار با صفات سدیم، پتاسیم، نیتروژن مضره، نسبت آلکالیته و درصد ملاس بود. عامل دوم نیز با تبیین ۲۵/۱۳ درصدی تغییرات و ریشه مشخصه ۱/۶۹۴، دارای ضریب منفی و معنی‌دار با صفات عملکرد ریشه و عملکرد قند و ضریب مثبت و معنی‌دار با صفت درصد قند بود (جدول ۷). آنالیز بای پلات در محیط نهاوند نشان داد که صفات درصد قند، درصد قند سفید، عملکرد قند، عملکرد قند سفید و ضریب استحصال قند با بردارهای با جهت موافق و با زاویه کم نسبت به همدیگر قرار گرفته و بیانگر ارتباط و همبستگی مثبت بین صفات مذکور است؛ همچنین صفات میزان سدیم، پتاسیم، نیتروژن مضره، نسبت آلکالیته و درصد ملاس توسط بردار با جهت مخالف با بردارهای مذکور قرار گرفته که نشان‌دهنده وجود ارتباط منفی بین ناخالصی‌های ریشه با صفات عملکردی قند است (شکل ۲-a).

در نهاوند ارتباط نزدیک بین بردارهای درصد قند، درصد قند سفید، ضریب استحصال قند و همچنین عملکرد قند و عملکرد قند سفید با رقم خارجی اورسلینا مشاهده شد. رقم مذکور در جهت خلاف بردارهای مربوط به ناخالصی‌های ریشه قرار گرفت که نشان‌دهنده مقدار کم این ناخالصی‌ها در ریشه برای این رقم بود. همچنین رقم اورسلینا با توجه به ناحیه قرارگیری آن نسبت به دو مؤلفه اول دارای همبستگی مثبت درونی با هر دو عامل بوده و به‌عنوان بهترین رقم در آنالیز بای پلات در نهاوند مشخص شد. رقم دنا نیز در این راستا و با فاصله کمتری با رقم اورسلینا قرار گرفته و از ضریب همبستگی مثبت با عامل اول و همبستگی منفی با عامل دوم برخوردار بود و بنابراین می‌توان رقم دنا را به‌عنوان رقم برتر در مقایسه با سایر ارقام ایرانی در نهاوند معرفی نمود. رقم نیکا نیز به‌واسطه داشتن ضریب همبستگی منفی با هر دو عامل و قرار گرفتن در خلاف جهت و دورترین فاصله از بردارهای درصد قند، درصد قند سفید، عملکرد قند، عملکرد قند سفید و ضریب استحصال قند، به‌عنوان بدترین رقم در بین سایر ارقام ایرانی براساس آنالیز بای پلات در نهاوند شناسایی شد (شکل ۲-a).

در اسدآباد عامل اول با ضریب مشخصه ۲/۴۷۴ و ضریب تبیین ۶۱/۶ درصد از تغییرات داده‌ها از ضرایب معنی‌دار و منفی با صفات میزان سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره و درصد ملاس و ضرایب مثبت و معنی‌دار با صفات درصد قند، درصد قند سفید، عملکرد قند، عملکرد قند سفید و ضریب استحصال قند برخوردار بود. عامل دوم نیز با درصد تبیین ۳۴/۳۴ از تغییرات و با ضریب مشخصه ۱/۳۷۹، دارای ضریب مثبت و معنی‌دار با صفت عملکرد ریشه و ضریب منفی و معنی‌دار با نسبت آلکالیته بود (جدول ۸).

در محیط اسدآباد نیز همانند محیط نهاوند آنالیز بای پلات نشان داد که رابطه نزدیکی بین رقم خارجی اورسلینا و بردارهای درصد قند، درصد قند سفید، عملکرد قند و عملکرد قند سفید وجود داشته و رقم مذکور با زاویه زیادی نسبت به صفات مربوط به وجود ناخالصی‌های ریشه شامل سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره و همچنین درصد ملاس قرار داشته و در این محیط نیز رقم اورسلینا از صفات مطلوب مرتبط با هر دو عامل برخوردار بوده و به‌عنوان بهترین رقم انتخاب شد. در بین ارقام داخلی نیز رقم نیکا به‌دلیل داشتن همبستگی درونی مثبت با عامل اول از خصوصیات مطلوب‌تری نسبت به سایر ارقام داخلی در محیط اسدآباد برخوردار بود. رقم دنا و سینا نیز به‌دلیل دارا بودن همبستگی منفی با عامل اول و همبستگی مثبت با عامل دوم به‌عنوان ارقام با صفات نامطلوب مرتبط با عامل‌ها در مقایسه با سایر ارقام داخلی براساس آنالیز بای پلات در اسدآباد شناسایی شدند (شکل ۲-b). منصوری و همکاران (Mansouri et al., 2024b) در ارزیابی لاین‌های چغندرقند براساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان دادند که دو مؤلفه اصلی اول به‌ترتیب با ۷۲/۰۵ درصد و ۲۶/۰۵ درصد و در مجموع ۹۸/۱۰ درصد ازتغییرات داده‌ها را تبیین نمودند. همچنین این محققان براساس آنالیز بای پلات گزارش کردند که ارقام شاهد نوودورو و FC-709-2 به همراه لاین‌های S1-140279،

S1-140279، S1-140279، S1-140279، S1-140279 و S1-140279 دارای همبستگی مثبت با عامل اول بوده و به‌عنوان لاین‌های برتر شناسایی شدند.



شکل ۲- نمودار بای پلات وضعیت قرار گرفتن ارقام چغندرقند نسبت به مؤلفه‌های اول و دوم در نهاوند (a) و اسدآباد (b)

Fig. 2- Scatter biplot diagram of sugar beet cultivars based on the first and second components in Nahavand (a) and Asadabad (b)

RY: عملکرد ریشه؛ SC: درصد قند؛ SY : عملکرد قند؛ Na : سدیم؛ K : پتاسیم؛ N: نیتروژن؛ Alc : آلکالیته؛ WSC : درصد قند سفید؛ WSY : عملکرد قند سفید؛ ECS : ضریب استحصال قند؛ Ms : قند ملاس.

RY: root yield; SC: sugar content; SY: sugar yield; Na: Sodium; K: Potassium; N: Nitrogen; Alc: Alkalinity; WSC: white sugar content; WSY: white sugar yield; ECS: extraction coefficient of sugar; Ms: molasses sugar

جدول ۸- نتایج تجزیه عاملی براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (ضرایب، مقدار ریشه مشخصه و واریانس) در محیط اسدآباد
Table 8- Factor analysis based on principal component analysis (coefficients, Eigenvalue and variance) in Asadabad environment

	مؤلفه ۱ PC1	مؤلفه ۲ PC2
عملکرد ریشه RY	-0.095	0.814
درصد قند SC	0.894	0.424
عملکرد قند SY	0.817	0.538
سدیم Na	-0.991	0.032
پتاسیم K	-0.629	0.544
نیتروژن N	-0.578	0.335
آلکالیته Alc	0.155	-0.726
درصد قند سفید WSC	0.954	0.278
عملکرد قند سفید WSY	0.922	0.368
ضریب استحصال قند ECS	0.987	-0.127
قند ملاس Ms	-0.909	0.379
ضریب مشخصه Eigenvalue	2.474	1.379
واریانس Variance (%)	61.60	34.34
واریانس تجمعی Cumulative variance (%)	61.60	95.94

RY: عملکرد ریشه؛ SC: درصد قند؛ SY : عملکرد قند؛ Na : سدیم؛ K : پتاسیم؛ N: نیتروژن؛ Alc : آلکالیته؛ WSC : درصد قند سفید؛ WSY : عملکرد قند سفید؛ ECS : ضریب استحصال قند؛ Ms : قند ملاس.

RY: root yield; SC: sugar content; SY: sugar yield; Na: Sodium; K: Potassium; N: Nitrogen; Alc: Alkalinity; WSC: white sugar content; WSY: white sugar yield; ECS: extraction coefficient of sugar; Ms: molasses sugar

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج آزمایش نشان داد که اثر متقابل رقم در مکان در اکثر صفات مورد مطالعه چغندرقند معنی‌دار بوده و بنابراین واکنش ارقام در دو محیط نهاوند و اسدآباد مستقل بود. نتایج حاکی از این بود که در بین ارقام تجاری کشت‌شده، رقم خارجی اورسلینا بالاترین صفات کیفی و عملکرد قند در هر دو مکان نهاوند و اسدآباد را به خود اختصاص داد. در مقایسه بین ارقام ایرانی نیز ارقام دنا و سینا در محیط نهاوند و رقم نیکا در محیط اسدآباد عملکرد قند بالاتری داشتند. ارقام چغندرقند براساس صفات مورد مطالعه در نهاوند به سه خوشه و در اسدآباد به چهار خوشه با استفاده از تجزیه خوشه‌ای دسته‌بندی شدند. بنابراین با توجه به نتایج تجزیه خوشه‌ای در محیط نهاوند خوشه اول شامل رقم اورسلینا و خوشه دوم شامل ارقام دنا، آسیا و شکوفا و در محیط اسدآباد خوشه اول و چهارم به‌ترتیب شامل ارقام اورسلینا و نیکا از لحاظ خصوصیات کمّی و کیفی به‌عنوان خوشه‌های برتر انتخاب شدند. براساس نتایج تجزیه به عامل‌ها در هر دو مکان، دو عامل اصلی برای محیط‌های نهاوند و اسدآباد به‌ترتیب با درصد تبیین ۹۵/۵۷ درصد و ۹۵/۹۴ درصد از تغییرات داده‌ها انتخاب شدند. تجزیه بای پلات براساس دو عامل اصلی انتخاب‌شده نشان داد که رقم اورسلینا به همراه ارقام دنا و آسیا در منطقه نهاوند و رقم اورسلینا

و نیکا در منطقه اسدآباد در موقعیت مناسبی از نمودار بای پلات از نظر خصوصیات کمّی و کیفی قرار گرفتند. با توجه به نتایج، رقم خارجی اورسلینا در هر دو مکان نهاوند و اسدآباد به‌عنوان رقم برتر در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی در این مطالعه انتخاب شد. در بین ارقام داخلی نیز ارقام دنا و آسیا برای محیط نهاوند و رقم نیکا برای مکان اسدآباد به‌عنوان ارقام با خصوصیات کمّی و کیفی بهتر معرفی شدند.

References

1. Akyüz, A., & Ersus, S. (2021). Optimization of enzyme-assisted protein extraction from the sugar beet (*Beta vulgaris* L.) leaves for alternative plant protein concentrate production. *Food Chemistry*, *335*, 127673. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127673
2. Farshadafar, E. (2005). Principles and Multivariate Statistical Methods (2th ed.). Publications Taq Bostan. Kermanshah, Iran. pp. 734. (In Persian).
3. Fotouhi, K., Majidi, E., Rajabi, A., & Azizinejad, R. (2017). Study of genetic variation for drought tolerance in sugar beet half-sib families. *Journal of Sugar Beet*, *33*(1), 1-16. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/jsb.2017.107740.1130
4. Hassani, M., Hamze, H., Mansori, H., Fathullah Taleghani, D., Jalilian, A., & Soltani Idliki, J. (2021). Evaluation of genetic parameters, relationships between traits and grouping of new sugar beet hybrids in terms of quantitative and qualitative traits under *Rhizomonia* contamination condition. *Journal of Crop Breeding*, *13(38)*, 149-159. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.52547/jcb.13.38.149
5. Hassani, M., Hamze, H., & Mansouri, M. (2022). Compatibility and stability of new rhizomania resistant multigerm hybrids in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *33*(1), 113-128. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/saps.2022.49322.2787
6. Hu, X.H., Wu, Y.M., & Wang, X.W. (2016). Principal component analysis and comprehensive evaluation of amino acid in different varieties of sugar beet. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, *32*(27), 69-75.
7. Hu, X.H., Jian-Zhou, C., & Hong-Yang, Z. (2019). Comprehensive evaluation of different sugar beet varieties by using principal component and cluster analyses. In *Journal of Physics: Conference Series*, *1176*(4), 042021. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1176/4/042021
8. Jia, X.F., Zhu, S.M., Wang, Q., Long, W., & Zhang, X.L. (2015). Principal component analysis and cluster analysis of the elements in sugar beet roots of different geographical origins in Xinjiang. *Modern Food Science and Technology*, *7*, 302-308. https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.7.047
9. Kuska, M.T., Von Tiedemann, S., & Mahlein, A. (2020). How table sugar is produced from sugar beets. *Frontiers for Young Minds*, *8*, 108. https://doi.org/10.3389/frym.2020.00108
10. Leonard, S.T., & Droege, M. (2008). The uses and benefits of cluster analysis in pharmacy research. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, *4*(1), 1-11. https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2007.02.001
11. Mansouri, H., Hamze, H., & Hassani, M. (2024a). Identification of resistant pollinator lines to soil-borne Rhizoctonia solani JG Kühn, 1858 in sugar beet using SIIG technique. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, *89*(3), 199-208.
12. Mansouri, H., Hamze, H., Hassani, M., & Aliverdi, A. (2024b). Resistance evaluation and identification of new sugar beet pollinator lines resistant to *Rhizoctonia* root and crown rot. *Journal of Sugar Beet*, *40*(1), 31-46. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/JSB.2024.366460.1364
13. Monteiro, F., Frese L., Castro, S., Duarte, M.C., Paulo, O.S., Loureiro, J., & Romeiras, M.M. (2018). Genetic and genomic tools to assist sugar beet improvement: The value of the crop wild relatives. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 74-85. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00074
14. Mostafavi, K., Orazizadeh, M.R., & Rajabi, A. (2017). Genotype - environment interaction pattern analysis for sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars yield using AMMI multivariate method. *Journal of Sugar Beet*, *33*(2), 135-147. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/jsb.2018.107335.1126
15. Ribeiro, I.C., Pinheiro, C., Ribeiro, C.M., Veloso, M.M., Simoes-Costa, M.C., Evaristo, I., & Ricardo, C.P. (2016). Genetic diversity and physiological performance of Portuguese wild beet (*Beta vulgaris* spp. maritima) from three contrasting habitats. *Frontiers in Plant Science*, *7*(1), 1293. https://doi.10.3389/fpls.2016.01293

16. Sadeghzadeh Hemayati, S., Hassani, M., Jalilian, A.L.I., Mirzai, M.R., Hamze, H., & Mansouri, H. (2024). Evaluation and comparison of quantitative and qualitative characteristics of commercial sugar beet cultivars in the western region of the country (Kermanshah and Lorestan). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *34*(1), 113-128. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/saps.2023.53293.2920
17. Sarica, D. (2024). Forecasting sugar beet production in turkey using the Box-Jenkins Method. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *26*(1), 1-11. https://doi.org/10.22034/JAST.26.1.1
18. SBSI (Sugar Beet Seed Institute). (2023). Annual Research Report. Sugar Beet Seed Institute Press. Karaj, Iran. pp. 157. (In Persian).
19. Taleghani, D., Rajabi, A., Saremirad, A., & Fasahat, P. (2023). Stability analysis and selection of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes using AMMI, BLUP, GGE biplot and MTSI. *Scientific Reports*, *13*(1), 10019. https://doi.org/10.1038/s41598-023-37217-7

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 3, 2025, p. 509-536

Impact of Intercropping Ratios and Sowing Methods on Yield and Characteristics of Garlic (*Allium sativum* L.) in Intercropping with Black Seed (*Nigella sativa* L.)

Firouz Darooforoush[1], Alireza Abdali Mashhadi[1*], Abdolmahdi Bakhshandeh[1], Amin Lotfi Jalal Abadi[1] and Ali Ghatei[1]

1- Department of Production and Plant Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
(*- Corresponding author's Email: alirezaabdali@asnrukh.ac.ir)

Received: 02-09-2025
Revised: 27-09-2025
Accepted: 30-09-2025
Available Online: 26-11-2025

How to cite this article:
Darooforoush, F., Abdali Mashhadi, A., Bakhshandeh, A., Lotfi Jalal Abadi, A., & Ghatei, A. (2025). Impact of intercropping ratios and sowing methods on yield and characteristics of garlic (*Allium sativum* L.) in intercropping with black seed (*Nigella sativa* L.). *Journal of Agroecology, 17*(3), 509-536. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/agry.2025.95173.1251

Introduction

Garlic (*Allium sativum* L.) and black seed (*Nigella sativa* L.) are medicinal plants with diverse applications. Intercropping, a sustainable agricultural practice, can enhance land productivity, reduce pests and diseases, and improve soil fertility. This study aimed to investigate the effects of different intercropping ratios and sowing methods on garlic yield and physiological traits by creating a favourable microclimate. The experiment was conducted in Dezful, Iran, a region with a semi-arid climate, to evaluate how these factors influence garlic growth and productivity. The study focused on optimizing resource use efficiency and understanding the competitive dynamics between garlic and black seed in mixed cropping systems.

Materials and Methods

The study was conducted during the 2021-2022 growing season in Dezful, Iran, at 32°16' N latitude and 48°25' E longitude, with an elevation of 82.9 meters above sea level. The experiment followed a randomized complete block design with three replications. Treatments included combinations of four sowing methods (ridge, furrow, ridge-furrow, and flat planting) and five intercropping ratios (100% black seed, 75% black seed + 25% garlic, 50% black seed + 50% garlic, 25% black seed + 75% garlic, and 100% garlic). The volume of the garlic bulb was measured using a graduated cylinder containing a specific amount of water. By submerging the garlic bulb into the graduated cylinder and recording the increase in the water volume, the volume of the garlic bulb was calculated. Garlic cloves were pre-chilled at 4°C for five days before planting. Black seed was sown at a depth of 1 cm, and garlic at 3.5 cm, with row and plant spacings of 50 cm and 12 cm, respectively. Fertilization included 125 $kg.ha^{-1}$ of nitrogen (applied in three stages) and 100 $kg.ha^{-1}$ of phosphorus. Irrigation, weeding, and thinning were performed as needed. Measured traits included leaf area index (LAI), chlorophyll index (SPAD), plant height, leaf dimensions, stem diameter, bulb volume, clove number, bulb weight, and yield. Data were analyzed using SAS software, and means were compared using the LSD test at a 5% significance level.

Authors retain the copyright.This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

https://doi.org/10.22067/agry.2025.95173.1251

Results and Discussion

The results revealed significant effects of intercropping ratios and sowing methods on garlic traits. The highest garlic yield (15,003 kg.ha^{-1}) was achieved in sole garlic cultivation with the ridge-furrow method (G_{RF100}), followed by flat planting (G_{P100}) and furrow planting (G_{F100}). Mixed cropping with higher black seed ratios (75%) significantly reduced garlic yield, indicating intense interspecies competition.

• Leaf Area Index (LAI): The highest LAI (0.200) was observed in the treatment with 75% black seed in furrows and 25% garlic on ridges (B_{F75}+G_{R25}), while the lowest LAI (0.023) occurred in the 25% black seed + 75% garlic ratio on ridges (B_{R25}+G_{R75}). • Chlorophyll Index (SPAD): The highest SPAD value (61.4) was recorded for black seed on ridges and garlic in furrows (B_{R75}+G_{F25}), suggesting better light and nutrient conditions in this arrangement.

• Bulb Traits: The highest bulb weight (66.7 g) and volume (101 cm^3) were observed in sole garlic under flat planting (G_{P100}). Intercropping, especially with high black seed ratios, negatively affected bulb traits.

• The highest stem diameter of garlic was observed in flat planting of garlic (G_{P100}), while most of the ridge planting treatments showed smaller stem diameters.

• Yield: The ridge-furrow method (G_{RF100}) outperformed other treatments, likely due to improved soil aeration and reduced competition. Mixed cropping at a 50:50 ratio with black seed on ridges and garlic in furrows (B_{R50}+G_{F50}) showed the lowest competition index (0.50) and the highest land equivalent ratio (1.20), indicating efficient resource use.

• The lowest competition index and the highest land equivalent ratio (LER) were observed when black seed was planted on ridges and garlic in furrows, with an equal plant ratio (50%-50%).

Conclusions

The study demonstrated that sole garlic cultivation, particularly in ridge-furrow or flat planting systems, maximizes yield and bulb quality. However, intercropping garlic with black seed at a 50:50 ratio, with black seed on ridges and garlic in furrows (B_{R50}+G_{F50}), offers a sustainable alternative by balancing yield and resource efficiency. This arrangement minimized competition and optimized land use, making it suitable for farmers seeking diversified and economically viable cropping systems. Future research should explore nutrient management and irrigation strategies to further enhance the productivity of intercropping systems.

Keywords: Clove, competition index, leaf area index, land equivalent ratio

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱٤۰٤، ص ٥۳٦-٥۰۹

اثر نسبت‌ها و روش‌های کاشت بر عملکرد و برخی از ویژگی‌های سیر (*Allium sativum* L.) در کشت مخلوط با سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)

فیروز داروفروش[۱]، علیرضا ابدالی مشهدی[۱*]، عبدالمهدی بخشنده[۱]، امین لطفی جلال آبادی[۱] و علی قاطعی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۸

چکیده

سیر (*Allium sativum* L.) و سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گیاهانی دارویی با کاربردهای متعدد هستند. هدف از این پژوهش آن بود که با ایجاد ریزاقلیم از طریق روش‌های کاشت و کشت مخلوط، تغییرات عملکرد و برخی از خصوصیات سیر بررسی شود. تیمارهای آزمایش شامل ترکیبی از روش‌های کاشت (کاشت در جوی، پشته، جوی-پشته و مسطح) و نسبت‌های اختلاط (۱۰۰ درصد سیاهدانه، درصد ۷۵ سیاهدانه-۲۵ درصد سیر، ۵۰ درصد سیاهدانه-۵۰ درصد سیر، ۲۵ درصد سیاهدانه-۷۵ درصد سیر و ۱۰۰ درصد سیر) بود که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در منطقه دزفول انجام شد. صفات مورد ارزیابی شامل شاخص سطح برگ، شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، طول برگ، عرض برگ، قطر ساقه، حجم سیرچه، تعداد سیرچه در پیاز، وزن پیاز، طول سیرچه، قطر سیرچه و عملکرد در گیاه سیر بود. نتایج نشان داد که ترکیب تیماری کشت خالص سیر توأم با روش کاشت در جوی-پشته با عملکرد ۱۵۰۰۳ کیلوگرم در هکتار دارای بالاترین عملکرد بود. همچنین تیمارهای کشت مسطح خالص سیر و کشت خالص سیر در جوی به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. کشت‌های مخلوط با نسبت‌های بالای سیاهدانه (۷۵ درصد) کاهش معنی‌داری در عملکرد سیر نشان داد. کم‌ترین شاخص رقابت و بالاترین نسبت برابری زمین در ترکیب تیماری کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر درون جوی و نسبت مساوی دو گیاه (۵۰ درصد - ۵۰ درصد) مشاهده شد. به‌طور کلی، کشت خالص سیر در جوی و پشته برای دستیابی به حداکثر عملکرد توصیه می‌شود، امّا نسبت ۵۰ درصد - ۵۰ درصد و کاشت سیاهدانه روی پشته و سیر در جوی می‌تواند به‌عنوان یک روش پایدار و اقتصادی مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: سیرچه، شاخص سطح برگ، شاخص رقابت، نسبت برابری زمین

مقدمه

یکی از راهکارها در علوم زراعی و باغبانی برای افزایش عملکرد، ایجاد ریزاقلیم (میکروکلیما) است تا از این راه شرایط بهتری برای رشدونمو گیاهان فراهم سازند. ریزاقلیم (Microclimate) به شرایط آب‌وهوایی محدود و کوچک‌مقیاس در سطح مزرعه یا باغ اشاره دارد که می‌تواند تحت تأثیر شیوه‌های مدیریتی مانند کاشت روی پشته و جوی، تغییر الگوی آبیاری و یا استفاده از مالچ قرار گیرد. این روش‌ها با تعدیل دما، رطوبت خاک، و نور دریافتی توسط گیاه، به کاهش تنش‌های محیطی مانند شوری، دمای نامطلوب، سایه‌اندازی، و کمبود رطوبت کمک می‌کنند. شیوه کاشت و موقعیت مکانی قرار گرفتن بذر در خاک می‌تواند بر استقرار موفق گیاهچه و نیز رشدونمو گیاه در مراحل بعدی اثرگذار باشد. در آزمایشی، تأثیر کشت جوی و پشته‌ای میکرو بر عملکرد و کارآیی استفاده از نور، آب و منابع گرمایی در کلزا (*Brassica napus* L.) طی یک آزمایش سه ساله مزرعه‌ای در مقایسه با کشت مسطح مرسوم مورد بررسی قرار گرفت. کشت جوی و پشته‌ای میکرو با تغییر زاویه برگ‌های گیاهان روی پشته‌ها و

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: alirezaabdali@asnrukh.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2025.95173.1251

جوی‌ها، ناهمگونی سایه‌انداز (تاج‌پوشش) را افزایش داد که منجر به جذب بهتر نور، کاهش تنش دمایی سایه‌انداز و بهینه‌سازی رطوبت سایه‌انداز شد که در نهایت باعث افزایش ۱۱ درصدی عملکرد شد (Wang et al., 2025). در یک آزمایش مزرعه‌ای سه ساله کاشت پشته‌ای گندم در مقابل کاشت مسطح، تحت تغییرات بارندگی نیمه‌خشک مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاشت جوی و پشته‌ای، نفوذ آب باران را به لایه‌های عمیق‌تر خاک بهبود بخشیده و ذخیره آب خاک را تا هشت درصد بالا برد و باعث افزایش کارآیی مصرف نیتروژن، بهره‌وری آب و عملکرد شد (Xing et al., 2025).

کشت مخلوط به‌عنوان یک روش کشاورزی پایدار و مقرون به‌صرفه است که فواید متعددی دارد که از جمله آن می‌توان به افزایش بهره‌وری زمین، کاهش آفات و بیماری‌ها و همچنین بهبود حاصلخیزی خاک اشاره کرد. کشت مخلوط در عین حال خطرات ناشی از کشت تک محصولی را به حداقل می‌رساند. در این روش، کشت همزمان دو یا چند گیاه در یک مزرعه باعث کاهش رقابت درون‌گونه‌ای می‌شود، زیرا گیاهان مختلف نیازهای غذایی و فضای رشد متفاوتی دارند. یکی دیگر از دلایل اثرات مفید کشت مخلوط، ایجاد تنوع زیستی و کاهش خطر شیوع بیماری‌هاست. در یک متاآنالیز با استفاده از یک مجموعه داده جهانی شامل ۱۲۸۵ مشاهده، مشخص شد که کشت مخلوط، ۱/۳۱ درصد محتوای آب خاک، ۲۹/۱ درصد رواناب و ۱۰/۳ درصد تبخیر از خاک را کاهش می‌دهد، امّا ۹/۸۵ درصد تعرق از برگ و ۲۹/۴ درصد کارآیی مصرف آب را افزایش می‌دهد (Liu et al., 2025). نتایج یک آزمایش دوساله در بنگلادش نشان داد که کاشت یک ردیف سیر بین ردیف‌های فلفل چیلی (*Capsicum annuum* L.)، باعث عملکرد و بهره‌وری بالاتر و بازده اقتصادی بهتر شد (Khatun et al., 2020). کشت مخلوط می‌تواند باعث افزایش کیفیت محصولات شود. در یک آزمایش مزرعه‌ای سه‌ساله، کشت مخلوط سه رقم گندم با نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) و باقلا (*Vicia faba* L.) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هرچند کشت مخلوط گندم و گونه‌های حبوبات، عملکرد گندم را بهبود نبخشید، امّا کیفیت دانه گندم و محتوای تغذیه‌ای خاک و گیاه در مخلوط گندم و حبوبات در مقایسه با گندم تک‌کشتی افزایش یافت و کیفیت پخت دانه‌های گندم حاصل از سیستم‌های کشت مخلوط نسبت به گندم تک‌کشتی برتر بود (Hlasna Cepkova *et al*., 2025). در آزمایشی، کشت مخلوط گیاه دارویی ختمی عطری (*Abelmoschus manihot* L.) با گیاه Oliv. *Eucommia ulmoides* باعث افزایش رشد ختمی عطری به‌ویژه افزایش تعداد گل‌ها و میوه‌ها افزایش گردید، امّا کیفیت خواص دارویی آن تحت تأثیر قرار نگرفت (Han et al., 2025). در آزمایشی، اثر خاک‌پوش کاه‌وکلش گندم بر مهار علف‌های هرز و ویژگی‌های کیفی محصول در کشت مخلوط استویا (*Stevia rebaudiana* L.) و گل‌گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* L.) مورد بررسی قرار گرفت و بالاترین مقدار ماده شیرین‌کننده طبیعی (استویوزید) در نسبت اختلاط ۷۵ درصد استویا و ۲۵ درصد گل‌گاوزبان و کاربرد خاک‌پوش در داخل جوی مشاهده شد. بالاترین عملکرد (وزن گل خشک) گل‌گاوزبان ایرانی با کاربرد خاک‌پوش در جوی و پشته و نسبت اختلاط ۵۰ درصد استویا و ۵۰ درصد گاوزبان به دست آمد (Raiszadeh et al., 2025). در یک آزمایش سه‌ساله، کشت مخلوط ذرت و بادام زمینی به‌طور مداوم، کارآیی مصرف آب را بهبود بخشید. همچنین بهینه‌سازی عرض نوار کاشت در سیستم‌های کشت مخلوط توانست هم بهره‌وری محصول و هم مدیریت آب را بهبود بخشد (Sun et al., 2025). سیر (*Allium sativum* L.) گیاهی خوراکی و دارای خواص دارویی است که قرن‌ها به‌عنوان یک درمان سنتی توسط مردم در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است. سیر دارای اثرات درمانی متعدد مانند خواص ضدباکتری و ضدسرطانی، توانایی کند کردن روند پیری و جلوگیری از چاقی، خواص ضد فشار خون، آنتی‌اکسیدانی و محافظت‌کننده قلب و توانایی در کاهش قند خون و کلسترول است. سیر دارای ترکیبات ارگانوسولفور می‌باشد که اثرات مفید و مطلوب بر سلامتی دارند (Samimi et al., 2025). سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) یک گیاه دارویی پرکاربرد در سراسر جهان است. دانه‌های این گیاه دارای ماده دارویی تیموکینون (Thymoquinone) است. به‌طور مشخص تیموکینون، فعالیت‌های محافظت عصبی، ضداسپاسم، گشادکننده برونش، محافظت کبدی، محافظت کلیوی، محافظت گوارشی و آنتی‌اکسیدانی را نشان داده است (Chatterjee et al., 2025). در دشت خوزستان، امکان کشت پاییزه و همزمان سیر و سیاهدانه به‌صورت کشت مخلوط وجود دارد. در این پژوهش هدف آن بود که با ایجاد ریزاقلیم از طریق کاشت بذر در زمین مسطح، در جوی و پشته و نسبت‌های مختلف اختلاط سیر و سیاهدانه، عملکرد و برخی ویژگی‌های سیر مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در طول سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در منطقه‌ای از شهرستان دزفول با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۸۲/۹ متر از سطح دریا انجام گردید. داده‌های اقلیمی ثبت‌شده در طول دوره آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

پیش از آغاز آزمایش، نمونه‌های خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در پنج نقطه مختلف مزرعه جمع‌آوری شد. پس از عبور دادن نمونه‌ها از الک دو میلی‌متری و تهیه نمونه مرکب، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین گردید (جدول ۲).

جدول ۱- ویژگی‌های هواشناسی طی دوره انجام آزمایش

Table 1- Meteorological parameters during the study period (2021-2022)

ماه Months	میانگین دمای حداقل Mean min temp (°C)	میانگین دمای حداکثر Mean max temp (°C)	میزان بارش Precipitation (mm)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	تبخیر Evaporation (mm)
آذر Nov 22-Dec 21	11.2	23.5	34.9	69.5	58.1
دی Dec 22-Jan 20	6.8	17.6	65.8	78.5	40.3
بهمن Jan 21-Feb 19	5.9	19.5	18.9	67.3	55.3
اسفند Feb 20-Mar 20	10.3	23.9	14.0	62.8	81.3
فروردین Mar 21-Apr 20	13.0	32.0	0.0	47.6	179
اردیبهشت Apr 21-May 21	18.4	35.5	14.2	43.1	247

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰ سانتی‌متری)

Table 2- Physicochemical properties of experimental field soil (0-30 cm depth) at study initiation

نیتروژن N (%)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	ماده آلی Organic Carbon ($mg.kg^{-1}$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}$)	منگنز Mn ($mg.kg^{-1}$)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}$)	مس Cu ($mg.kg^{-1}$)	پی‌اچ pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	بافت Texture
0.03	9.4	95	0.45	1.1	10.2	6.0	2.4	7.88	2.2	Silty loam

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل ترکیبی از روش‌های کاشت (پشته، جوی، مسطح) و نسبت‌های اختلاط سیاهدانه و سیر (۱۰۰ درصد سیاهدانه، ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر، ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر، ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر، ۱۰۰ درصد سیر) بودند. کدهای تیماری و جزئیات آن‌ها در جدول ۳ درج شده است.

آماده‌سازی زمین: پس از شخم با گاوآهن چیزل، عملیات دیسک و تسطیح انجام شد. بذر سیاهدانه (تأمین‌شده از شرکت دشتیار اصفهان) و سیر (توده محلی همدان) به‌ترتیب با عمق ۱ و ۳/۵ سانتی‌متر کشت گردید. سیرها قبل از کاشت به‌مدت پنج روز در سردخانه با دمای چهار درجه سانتی‌گراد سرمادهی شدند. فاصله خطوط کشت برای هر دو گیاه ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی خط کشت ۱۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با توجه به نتاج به‌دست آمده از آزمایش خاک، ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص در نظر گرفته شد. کوددهی براساس آزمایش خاک انجام شد. کود نیتروژن از منبع اوره به‌مقدار ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار (۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار به‌صورت کود پایه، ۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار ۵۰ روز بعد از کاشت و ۵۰ کیلوگرم در هکتار ۹۰ روز بعد از کاشت) استفاده گردید. کود فسفر به‌شکل فسفات آمونیوم به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌کار رفته شد (محتوای نیتروژن موجود در آمونیوم فسفات در محاسبه مقدار کوددهی نیتروژن در نظر گرفته شد). آبیاری، وجین، تنک‌کردن و کوددهی سرک براساس نیاز گیاهان انجام شد. عملکرد تر و خشک

پس از خشک‌کردن در آون (۷۲ سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت) تعیین گردید. صفات مورفولوژیک (مانند ارتفاع بوته و ابعاد برگ) از طریق نمونه‌برداری تصادفی از پنج بوته اندازه‌گیری شد. برای این منظور، نیم متر از ابتدا و انتهای خطوط کشت به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته و از اندازه‌گیری حذف شد. حجم پیاز سیر با استفاده از استوانه مدرج حاوی مقدار مشخص آب صورت گرفت. با فرو بردن پیاز سیر به درون استوانه مدرج و ثبت افزایش حجم آب درون استوانه مدرج، مقدار حجم پیاز سیر محاسبه گردید.

جدول ۳- شرح تیمارهای آزمایش

Table 3- Description of experimental treatments

کد تیمار Treatment code	نسبت اختلاط Intercropping ratio	روش کاشت Sowing method
B_{R100}	کشت خالص سیاهدانه Sole black seed	کاشت بر روی پشته Sowing on ridge
$B_{R75}+G_{R25}$	۷۵٪ سیاهدانه + ۲۵٪ سیر 75% black seed + 25% galic	
$B_{R50}+G_{R50}$	۵۰٪ سیاهدانه + ۵۰٪ سیر 50% black seed + 50% galic	
$B_{R25}+G_{R75}$	۲۵٪ سیاهدانه + ۷۵٪ سیر 25% black seed + 75% galic	
G_{R100}	کشت خالص سیر Sole garlic	
B_{F100}	کشت خالص سیاهدانه Sole black seed	کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته Black seed in furrows/garlic on ridges
$B_{F75}+G_{R25}$	۷۵٪ سیاهدانه + ۲۵٪ سیر 75% black seed + 25% galic	
$B_{F50}+G_{R50}$	۵۰٪ سیاهدانه + ۵۰٪ سیر 50% black seed + 50% galic	
$B_{F25}+G_{R75}$	۲۵٪ سیاهدانه + ۷۵٪ سیر 25% black seed + 75% galic	
$B_{R75}+G_{F25}$	۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر 75% black seed + 25% galic	کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی Black seed on ridges/garlic in furrows
$B_{R50}+G_{F50}$	۵۰٪ سیاهدانه + ۵۰٪ سیر 50% black seed + 50% galic	
$B_{R25}+G_{F75}$	۲۵٪ سیاهدانه + ۷۵٪ سیر 25% black seed + 75% galic	
G_{F100}	کشت خالص سیر Sole garlic	
B_{P100}	کشت خالص سیاهدانه Sole black seed	کشت مسطح Plane sowing
$B_{P75}+G_{P25}$	۷۵٪ سیاهدانه + ۲۵٪ سیر 75% black seed + 25% galic	
$B_{P50}+G_{P50}$	۵۰٪ سیاهدانه + ۵۰٪ سیر 50% black seed + 50% galic	
$B_{P25}+G_{P75}$	۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر 25% black seed + 75% galic	
G_{P100}	کشت خالص سیر Sole garlic	
B_{RF100}	کشت خالص سیاهدانه Sole black seed	کشت در جوی و پشته Sowing in furrows and on ridges
G_{RF100}	کشت خالص سیر Sole garlic	

B: سیاهدانه، G: سیر، R: پشته، F: جوی، P: مسطح

B: Black Seed, G: Garlic, R: Ridge, F: Furrow, P: Plane

برای تعیین شاخص سطح برگ از خطوط نمونه‌برداری، پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب و پس از جدا کردن برگ‌ها اندازه‌گیری شد. شاخص سطح برگ و شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه SPAD-502 (Minolta, Japan) در تاریخ ۲۷ اسفند ۱۴۰۱ اندازه‌گیری گردید. نسبت برابری زمین[1] با استفاده از معادله زیر محاسبه شد.

معادله (۱) $LER = (I_1/P_1) + (I_2/P_2)$

که در آن، I: میزان عملکرد یک گیاه در کشت مخلوط و P: محصول همان گیاه در کشت خالص است (Torkaman et al., 2019). شاخص رقابت[2] نیز با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید:

معادله (۲) $CI = (Y_{AA} - Y_{AB}) \times (Y_{BB} - Y_{BA}) / (Y_{AB} \times Y_{BA})$

که در آن، Y_{AA} و Y_{BB}: به‌ترتیب عملکرد گونه A و B در کشت خالص و Y_{AB} و Y_{BA}: به‌ترتیب عملکرد گونه A و B در کشت مخلوط است (Seyedi et al., 2020). داده‌ها با نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۰) تحلیل و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام گردید. نمودارها نیز با Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ: براساس نتایج تجزیه واریانس حاصل از این پژوهش، اثر تیمارهای آزمایش بر شاخص سطح برگ سیر معنی‌دار بود (جدول ۴). بالاترین شاخص سطح برگ سیر در تیمار $B_{F75}+G_{R25}$ (کشت سیاهدانه در جوی‌ها و سیر بر روی پشته‌ها و با نسبت اختلاط ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر) مشاهده شد (جدول ۵). کم‌ترین شاخص سطح برگ سیر در تیمار $B_{R25}+G_{R75}$ (کشت هر دو گیاه بر روی پشته و نسبت اختلاط ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر) به دست آمد که با تیمار $B_{F75}+G_{R25}$ که دارای بالاترین شاخص سطح برگ بود، ۷۶۹ درصد اختلاف داشت. با مشاهده مقایسه میانگین شاخص سطح برگ سیر (شکل ۱) که به‌ترتیب نزولی بود، مشخص گردید که به‌طور نسبی بالاترین شاخص‌های سطح برگ سیر در نسبت‌هایی به دست آمد که سیاهدانه دارای بالاترین سهم (۷۵ درصد) در نسبت اختلاط بود. احتمال دارد این روند به‌دلیل کاهش رقابت بین گونه‌ای در سیر باشد. در مقابل، در کشت خالص سیر و یا در تیمارهایی که دارای نسبت‌های بالای سیر (۷۵ درصد) بودند، در برخی از روش‌های کاشت (مانند کشت هر دو گیاه روی پشته) کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ مشاهده گردید که این کاهش ممکن است ناشی از رقابت درون‌گونه‌ای در کشت خالص یا رقابت شدید با سیاهدانه در کشت مخلوط باشد. همچنین روش کشت مسطح سیر دارای شاخص سطح برگ متوسطی بود که می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر منفی یکنواختی شرایط محیطی بر رشد برگ‌ها باشد، به‌طور کلی، سیر گیاهی است که شاخص سطح برگ پایینی دارد. در آزمایشی، دامنه شاخص سطح برگ سیر از ۰/۳۹ تا ۰/۵۳ گزارش شد (Kovacevic et al., 2023). در آزمایشی، دامنه شاخص سطح برگ در توده‌های سیر محلی ایرانی از ۰/۲۸ تا ۱/۹ گزارش شد (Alemkhoumaram et al., 2019).

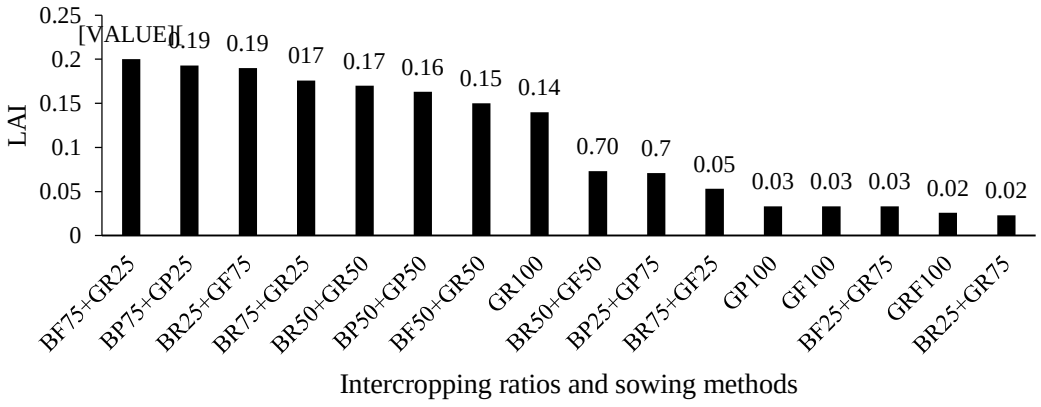
شاخص سبزینگی[3]: اثر تیمارها بر شاخص کلروفیل معنی‌دار گردید (جدول ۴). دامنه تغییرات شاخص کلروفیل از ۵۲/۹ تا ۶۱/۴ متغیر بود که نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه تیمارهای مختلف بر محتوای کلروفیل برگ‌ها می‌باشد (شکل ۲). بین بیشترین (۶۱/۴) و کم‌ترین (۵۲/۹) شاخص کلروفیل که به‌ترتیب مربوط به تیمار $B_{R75}+G_{F25}$ (کشت ۷۵ درصد سیاهدانه روی پشته + ۲۵ درصد سیر در جوی) و $B_{R25}+G_{R75}$ (کشت ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر هر دو روی پشته) ۱۶ درصد اختلاف وجود داشت. به‌طور کلی، با افزایش نسبت سیر در مخلوط، مقادیر شاخص کلروفیل تمایل به کاهش داشتند، به‌طوری‌که در تیمارهایی که نسبت سیر در آن‌ها کم‌تر (۲۵ درصد) بود، میانگین شاخص کلروفیل بالاتری (میانگین حدود ۶۰/۸) مشاهده شد. شاخص کلروفیل در تیمارهایی که نسبت مساوی سیر (۵۰ درصد) داشتند دارای میانگین ۵۷ و در تیمارهایی که نسبت بالای سیر (۷۵ درصد) داشتند دارای میانگین ۵۵/۲ بود. بررسی روند نتایج مقایسه میانگین نشان‌دهنده اثربخشی الگوهای کاشت بر شاخص کلروفیل بود. بالاترین شاخص کلروفیل (با میانگین ۵۹/۹) در تیمارهایی با کشت سیاهدانه روی پشته + سیر در جوی (B_R+G_F) مشاهده شد. میانگین شاخص کلروفیل در کشت‌های مسطح هر دو گیاه (B_P+G_P) ۵۷/۳، در کشت هر دو گیاه بر روی پشته (B_R+G_R) ۵۶/۶ و در کشت‌های سیاهدانه در جوی + سیر روی پشته (B_F+G_R) ۵۶/۷ بود.

1- LER = Land equivalent ratio
2- CI = Competition index
3 - SPAD

جدول ٤- آنالیز واریانس صفات آزمایشی در گیاه سیر
Table 4- Analysis of variance for the traits examined in garlic

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares								
		شاخص سطح برگ LAI	شاخص کلروفیل SPAD	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد برگ در بوته No. of leaves per plant	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	قطر ساقه Stem diameter	حجم پیاز Bulb volume	تعداد سیرچه در پیاز Number of cloves per Bulb
تکرار Replication	2	0.0001^{ns}	342**	1.21 ^{ns}	12.5^{ns}	11.6^{ns}	0.096^{ns}	0.039^{ns}	42.3^{ns}	13.9^{ns}
تیمار Treatment	15	0.014**	25.0	27.7^{ns}	42.2**	21.1^{ns}	0.246^{ns}	0.067*	674**	73.4**
خطا Error	30	0.0002	56.8	26.7	5.13	27.4	0.232	0.028	26.6	12.2
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		14.8	13.0	8.68	12.9	10.9	19.5	13.7	7.42	17.0

^{ns}، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد
**, * and ^{ns}: respectively indicate significance at 1%, 5% level and non-significance.

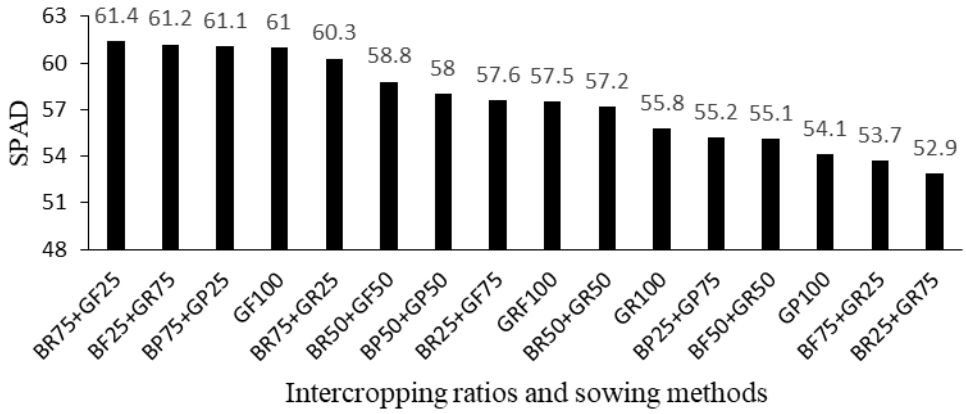


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر شاخص سطح برگ سیر (LSD= ۰/۰۲٦)
Fig. 1- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the leaf area index of garlic (LSD= 0.026)

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.
Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

BR75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، GR100: کشت خالص سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، GF100: کشت خالص سیر (کاشت سیر در جوی)، BP75+GP25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کشت مسطح)، BP50+GP50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح)، GP100: کشت خالص سیر (کشت مسطح)، GRF100: کشت خالص سیر (کشت در جوی و در پشته).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), GR100: Sole garlic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), GF100: Sole garlic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing), GP100: Sole garlic (Plane sowing), GRF100: Sole garlic (Sowing in furrows and on ridges).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر شاخص کلروفیل (LSD= ۱۲/۵)

Fig. 2- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the SPAD of garlic (LSD=12.5)

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

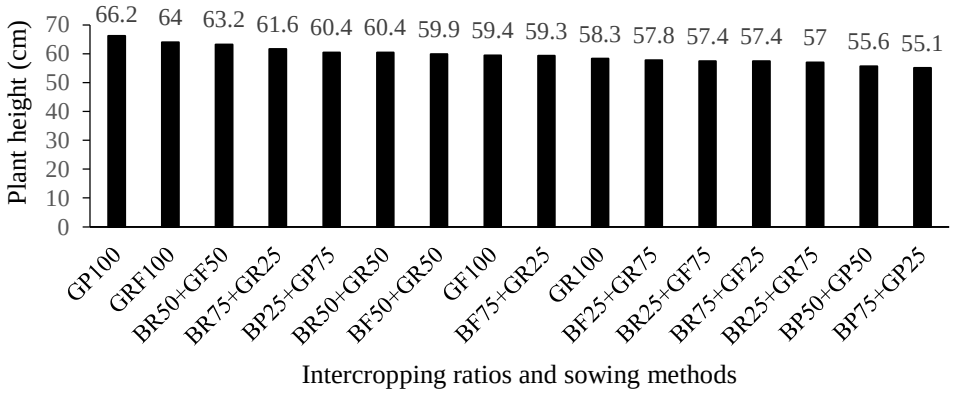
BR75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، GR100: کشت خالص سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، GF100: کشت خالص سیر (کاشت سیر در جوی)، BP75+GP25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کشت مسطح)، BP50+GP50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح)، GP100: کشت خالص سیر (کشت مسطح)، GRF100: کشت خالص سیر (کشت در جوی و در پشته).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), GR100: Sole garlic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), GF100: Sole garlic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing), GP100: Sole garlic (Plane sowing), GRF100: Sole garlic (Sowing in furrows and on ridges).

اینکه تیمار $B_{R75}+G_{F25}$ دارای بالاترین شاخص کلروفیل بود، شاید به این دلیل باشد که قرارگیری سیاهدانه روی پشته و سیر در جوی باعث بهبود وضعیت تغذیه‌ای و مناسب‌تر شدن شرایط نوری از نظر شدت، کیفیت و مدت تابش در شرایط میکروکلیما (ریزاقلیم) برای سیر شده است. همچنین این الگوی کاشت ممکن است شرایط تهویه‌ای مناسبت‌تری ایجاد کرده باشد. تیمارهای با شاخص کلروفیل پایین مانند $B_{R25}+G_{R75}$ شاید نشان‌دهنده آن باشد که کشت هر دو گیاه روی پشته ممکن است باعث تشدید رقابت برای نور و مواد غذایی شده باشد. کاشت گیاه بر روی پشته ممکن است آن را بیشتر از کشت در جوی و یا کشت به‌صورت مسطح در معرض تنش شوری قرار دهد. در آزمایشی، تنش شوری باعث کاهش شاخص سبزینگی سیر شد (Khademi et al., 2018). در آزمایشی دیگر، سه رقم سیر مورد ارزیابی قرار گرفتند و حداقل و حداکثر شاخص سبزینگی ۹۶، ۱۰۳ و ۱۱۰ روز پس از کاشت ۷۲–۶۷، ۶۹–۶۲ و ۶۰–۵۵ گزارش گردید (Immatong & Elias, 2025). در اسدآباد همدان، تحت شرایط بدون آبیاری، شاخص سبزینگی اکوتیپ‌های بومی سیر مورد ارزیابی قرار گرفت و شاخص سبزینگی در اوایل دوره رشد رویشی از ۴۵ تا ۵۱، در اواسط دوره رشد رویشی از ۳۴ تا ۶۵ و در انتهای دوره رشد رویشی از ۴۳ تا ۵۳ متغیر بود (Kakaei, 2023).

ارتفاع بوته: تیمارهای آزمایشی اثر معنی‌داری بر صفت ارتفاع

بوته سیر نداشتند (جدول ۴). در بین الگوهای کاشت، بالاترین میانگین ارتفاع بوته در تیمار G_{P100} (کشت مسطح خالص سیر) با ۶۶ سانتی‌متر و تیمار G_{RF100} (کشت خالص سیر در پشته و جوی) با ۶۴ سانتی‌متر مشاهده شد که نشان می‌دهد کشت خالص سیر بدون اختلاط با سیاهدانه ممکن است شرایط بهینه‌تری برای رشد ارتفاعی سیر فراهم کند، هرچند تفاوت آن با سایر تیمارها معنی‌دار نبود (شکل ۳). همچنین با افزایش درصد سیاهدانه (مثلاً ۷۵ درصد سیاهدانه) کاهش جزئی در ارتفاع سیر مشاهده شد. در آزمایشی، ارتفاع بوته سیر تحت تأثیر شاهد، تنش خشکی، تنش خشکی به همراه کودهای پایه و تنش خشکی به همراه کودهای پایه و کاربرد سیلیس به‌ترتیب ۷۵، ۵۲، ۵۸ و ۷۴ سانتی‌متر گزارش شد (Goyal et al., 2025). دامنه تغییرات ارتفاع بوته در شش اکوتیپ سیر در همدان از ۴۰ تا ۶۱ سانتی‌متر متغیر بود (Kakaei, 2023). در آزمایشی دیگر هفت فاصله کاشت بر روی دو رقم طارم و همدان مورد ارزیابی قرار گرفت و بلندترین ارتفاع بوته در رقم طارم و فاصله کاشت ۱۲/۵ × ۱۲/۵ سانتی‌متر مشاهده شد (Fakhar et al., 2019). در پژوهشی دیگر ارتفاع بوته اکوتیپ همدان ۷۵ سانتی‌متر گزارش شد و دامنه ارتفاع بوته در هشت اکوتیپ بومی ایران بین ۶۷/۶ تا ۸۶/۵ سانتی‌متر متغیر بود (Akbarpour et al., 2021).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر ارتفاع بوته سیر (LSD= ۸/۲۶)

Fig. 3- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the Plant height of garlic (LSD=8.26)

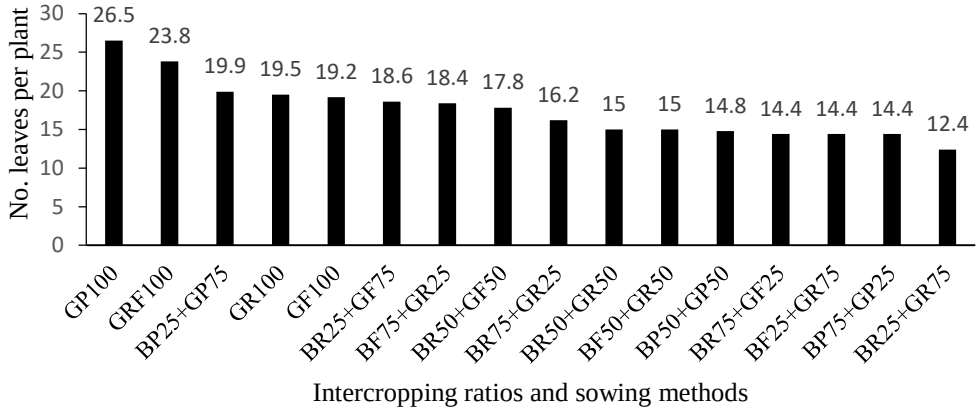
میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

BR75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، GR100: کشت خالص سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، GF100: کشت خالص سیر (کاشت سیر در جوی)، BP75+GP25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کشت مسطح)، BP50+GP50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح)، GP100: کشت خالص سیر (کشت مسطح)، GRF100: کشت خالص سیر (کشت در جوی و در پشته).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), GR100: Sole garlic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), GF100: Sole garlic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing), GP100: Sole garlic (Plane sowing), GRF100: Sole garlic (Sowing in furrows and on ridges).

تعداد برگ: براساس نتایج حاصل از این پژوهش، اثر تیمارها بر تعداد برگ در بوته معنی‌دار بود (جدول ۴). تیمارهای G_{P100} (کشت مسطح خالص سیر) و G_{RF100} (کشت خالص سیر در پشته و جوی) به‌ترتیب با ۲۶ و ۲۳/۸ برگ در بوته (بدون اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها) دارای بالاترین تعداد برگ در بوته بودند (شکل ۴). تیمارهای $B_{P25}+G_{P75}$ (۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر در کشت مسطح)، G_{R100} (کشت خالص سیر در کشت پشته‌ای) و G_{F100} (کشت خالص سیر در جوی‌ها) دارای تعداد متوسط برگ در بوته و تیمار $B_{R25}+G_{R75}$ (۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر در کشت پشته‌ای) دارای کم‌ترین تعداد برگ در بوته بودند. بین بیشترین و کم‌ترین تعداد برگ در بوته سیر که به‌ترتیب در تیمارهای G_{P100} و G_{P100} مشاهده شد، ۱۱۳ درصد اختلاف وجود داشت.



شکل ٤- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر تعداد برگ بوته سیر

Fig. 4- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the number leaves per plantof garlic (LSD= 3.77)

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

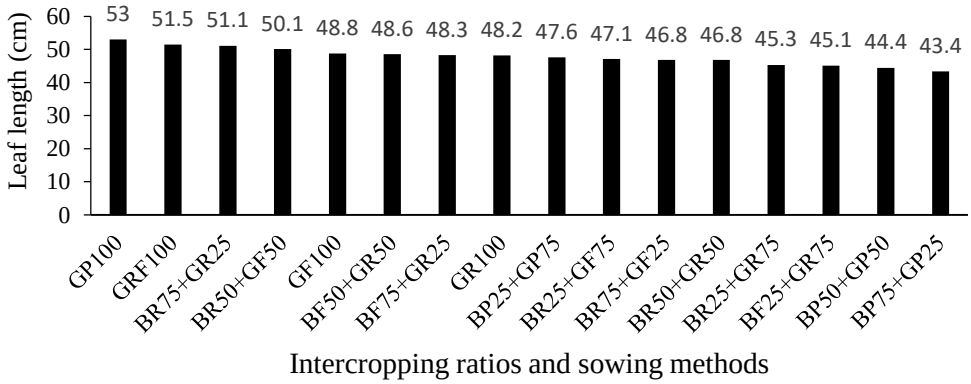
BR75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، GR100: کشت خالص سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، GF100: کشت خالص سیر (کاشت سیر در جوی)، BP75+GP25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کشت مسطح)، BP50+GP50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح)، GP100: کشت خالص سیر (کشت مسطح)، GRF100: کشت خالص سیر (کشت در جوی و در پشته).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), GR100: Sole garlic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), GF100: Sole garlic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing), GP100: Sole garlic (Plane sowing), GRF100: Sole garlic (Sowing in furrows and on ridges).

در کل، با افزایش درصد سیاهدانه در نسبت‌های اختلاط، کاهش تعداد برگ مشاهده گردید، به‌طوری‌که کشت خالص سیر (به‌ویژه در شرایط مسطح) عملکرد بهتری نسبت به سایر تیمارهای مخلوط داشت. این نتایج نشان می‌دهد که سیستم جوی-پشته در کشت

مخلوط ممکن است به‌لحاظ تعداد برگ در بوته سیر چالش‌برانگیزتر باشد. در تحقیقی، تعداد برگ در بوته سیر تحت انواع سایه‌دهی به‌طور معنی‌داری بالاتر از شرایط عدم سایه‌دهی (شاهد) بود (Immatong & Elias, 2025). در آزمایش کشت مخلوط سیر با باقلا، الگوهای مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر تعداد برگ سیر نداشت (Elshamy & Abd El-Aty, 2021). با توجه به اینکه ارتفاع بوته تحت تأثیر تیمارها نبود، می‌توان نتیجه گرفت که تعداد برگ در بوته حساسیت بیشتری به رقابت با سیاهدانه نشان می‌دهد. در یک بررسی، در شش اکوتیپ ایرانی سیر، تعداد برگ در بوته از ۳۴ تا ۶۴ گزارش شد (Kakaei, 2023).

طول برگ: صفت طول برگ گیاه سیر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار نگرفت (جدول ۴). هر چند تیمارها در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار نشدند، ولی روند میانگین‌ها نشان‌دهنده آن بود که با افزایش سهم سیاهدانه در نسبت اختلاط به‌ویژه در نسبت‌های ۵۰ و ۷۵ درصد، طول برگ کاهش یافته است (شکل ۵). در نگاه کلی، این احتمال وجود دارد که گیاه سیر تحت شرایط رقابتی با سیاهدانه، ممکن است به‌جای تولید برگ‌های جدید، منابع را بیشتر به رشد طولی برگ اختصاص دهد. در بررسی هشت اکوتیپ از نقاط مختلف ایران، طول برگ در اکوتیپ همدان ۵۴ سانتی‌متر و دامنه تغییرات طول برگ در هشت اکوتیپ از ۴۰ تا ۵۵/۶ سانتی‌متر متغیر بود (Akbarpour et al., 2021).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر طول برگ سیر (LSD= ۸/۷۳)

Fig. 5- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the leaf length of garlic (LSD= 8.73)

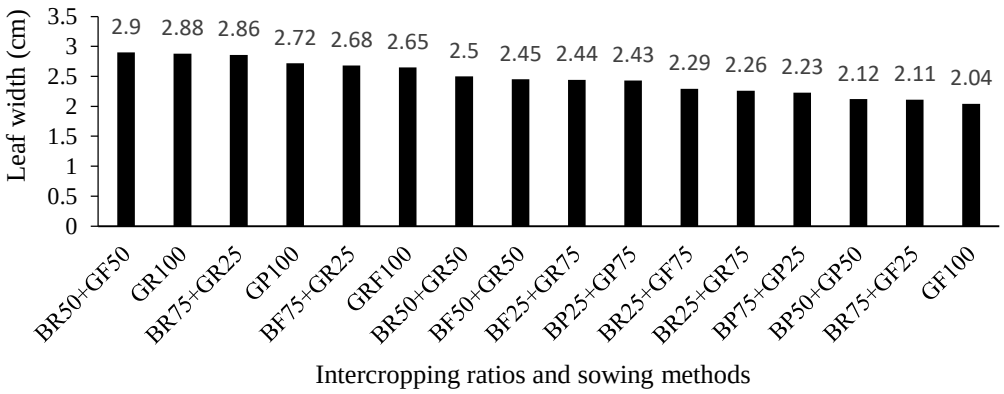
میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

BR75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، GR100: کشت خالص سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، GF100: کشت خالص سیر (کاشت سیر در جوی)، BP75+GP25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کشت مسطح)، BP50+GP50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح)، GP100: کشت خالص سیر (کشت مسطح)، GRF100: کشت خالص سیر (کشت در جوی و در پشته).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), GR100: Sole garlic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), GF100: Sole garlic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing), GP100: Sole garlic (Plane sowing), GRF100: Sole garlic (Sowing in furrows and on ridges).

عرض برگ: نتایج این تحقیق نشان داد که تیمارهای به‌کاررفته در آزمایش، اثر معنی‌داری بر صفت عرض برگ سیر نداشتند (جدول ۴). دامنه تغییرات میانگین عرض برگ در تیمارها از ۲/۰۴ سانتی‌متر در تیمار G_{F100} (کشت خالص سیر در جوی) تا ۲/۹۰ سانتی‌متر در تیمار $B_{R50}+G_{F50}$ (۵۰ درصد سیاهدانه روی پشته + ۵۰ درصد سیر در جوی) متغیر بود (شکل ۶). عدم معنی‌دار شدن صفت عرض برگ سیر شاید به این دلیل باشد که عوامل ژنتیک و محیطی (مانند خاک، آب یا نور) اثر غالب‌تری نسبت به تیمارها داشتند و به عبارت دیگر محدوده تغییرات نسبت اختلاط یا الگوی کاشت آنقدر نبوده که تفاوت معنی‌داری ایجاد کند. در پژوهشی دیگر عرض برگ در اکوتیپ همدان ۳/۱۱ سانتی‌متر و دامنه تغییرات آن در هشت اکوتیپ ایرانی از ۱/۶ تا ۳/۵۲ متغیر بود (Akbarpour et al., 2021).



شکل ٦- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر عرض برگ سیر (LSD = ۰/۸۰٤)

Fig. 6- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the leaf width of garlic (LSD= 0.804)

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

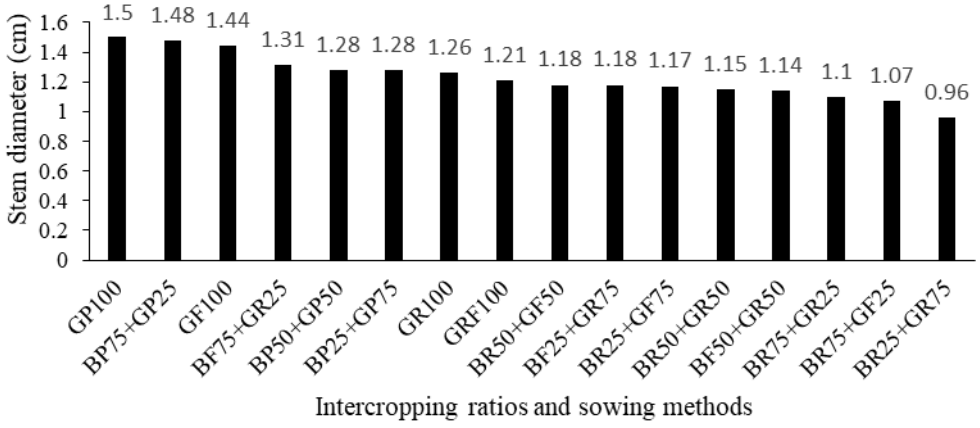
Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

BR75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، GR100: کشت خالص سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، GF100: کشت خالص سیر (کاشت سیر در جوی)، BP75+GP25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کشت مسطح)، BP50+GP50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح)، GP100: کشت خالص سیر (کشت مسطح)، GRF100: کشت خالص سیر (کشت در جوی و در پشته).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), GR100: Sole garlic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), GF100: Sole garlic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing), GP100: Sole garlic (Plane sowing), GRF100: Sole garlic (Sowing in furrows and on ridges).

قطر ساقه: براساس نتایج حاصل از این تحقیق، اثر تیمارهای آزمایش بر صفت قطر ساقه سیر معنی‌دار گردید (جدول ۴). بررسی نتایج جدول مقایسه میانگین (شکل ۷) نشان داد که بالاترین قطر ساقه (۱/۵ سانتی‌متر) مربوط به تیمار G_{P100} (کشت مسطح خالص سیر) بود که با تیمارهای $B_{P75}+G_{P25}$ و G_{F100} تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۱۱). کاهش تدریجی قطر ساقه در تیمارهای دیگر مشاهده

شد، به‌طوری که پایین‌ترین مقدار (۰/۹۶ سانتی‌متر) متعلق به تیمار $B_{R25}+G_{R75}$ (۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر روی پشته) بود که با بالاترین قطر ساقه در تیمار G_{P100}، ۵۶ درصد تفاوت داشت. تیمارهای با ترکیب مساوی سیاهدانه و سیر مانند $B_{R50}+G_{F50}$ یا $B_{F50}+G_{R50}$ اغلب دارای قطر ساقه کم بودند که نشان‌دهنده تأثیر منفی رقابت بر قطر ساقه است. همچنین الگوی کاشت پشته‌ای در برخی تیمارها مانند G_{R100} یا $B_{R25}+G_{R75}$ نتایج ضعیف‌تری نسبت به کشت مسطح (G_{P100}) نشان داد. از نظر صفت قطر ساقه، کشت مسطح سیر (G_{P100}) بالاترین قطر ساقه را داشت، درحالی‌که بسیاری از تیمارهای کاشت بر روی پشته (مثل G_{R100} یا $B_{R25}+G_{R75}$) نتایج ضعیف‌تری نشان دادند. این ممکن است به‌دلیل توزیع یکنواخت‌تر منابع (آب، نور، مواد مغذی) در کشت مسطح باشد. وجود سیاهدانه به‌ویژه در نسبت‌های بالاتر (۷۵ درصد سیاهدانه) بیشتر با کاهش قطر ساقه سیر همراه بود که نشان‌دهنده رقابت بین گونه‌ای است. سیاهدانه ممکن است با جذب بیشتر منابع یا تولید آللوکمیکال‌ها بر رشد سیر تأثیر منفی گذاشته باشد. تیمارهای با سیر کشت‌شده در جوی (G_{F100}) قطر ساقه بالاتری نسبت به برخی از تیمارهای پشته‌ای داشتند که شاید به‌دلیل دسترسی بهتر به رطوبت در جوی‌ها است.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر قطر ساقه سیر (LSD= ۰/۲۸۳)

Fig. 7- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the stem diameter of garlic (LSD= 0.283)

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

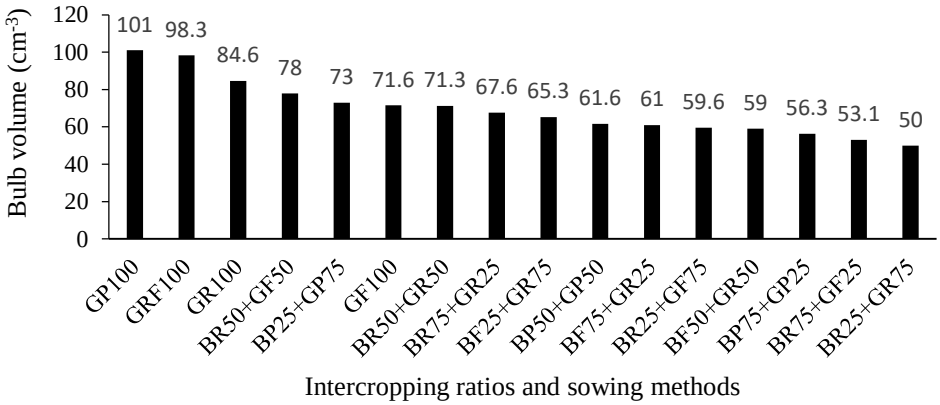
Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

BR75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، GR100: کشت خالص سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: ۷۵ درصد سیاهدانه در روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، GF100: کشت خالص سیر (کاشت سیر در جوی)، BP75+GP25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کشت مسطح)، BP50+GP50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح)، GP100: کشت خالص سیر (کشت مسطح)، GRF100: کشت خالص سیر (کشت در جوی و در پشته).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), GR100: Sole garlic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), GF100: Sole garlic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing), GP100: Sole garlic (Plane sowing), GRF100: Sole garlic (Sowing in furrows and on ridges).

تیمارهای ترکیبی مثل $B_{R50}+G_{F50}$ یا $B_{F25}+G_{R75}$ اغلب قطر ساقه کمتری نسبت به تیمارهای خالص سیر داشتند. این تأیید می‌کند که اختلاط با سیاهدانه می‌تواند رشد سیر را محدود کند. کاهش معنی دار قطر ساقه در تیمارهای با نسبت بالای سیاهدانه مثل $B_{R75}+G_{R25}$ یا $B_{R75}+G_{F25}$ نشان‌دهنده حساسیت سیر به رقابت در نسبت‌های نامتعادل است. در آزمایشی، قطر ساقه اکوتیپ همدان ۲/۵ سانتی‌متر گزارش شد و دامنه قطر ساقه در هشت اکوتیپ ایرانی بین ۱/۰۴ تا ۳/۱۱ سانتی‌متر متغیر بود (Akbarpour et al., 2021).

حجم پیاز: براساس نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، تیمارها اثر معنی‌داری بر حجم پیاز سیر نداشتند (جدول ۴). بالاترین حجم پیاز سیر (۱۰۱ سانتی‌مترمکعب) مربوط به تیمار G_{P100} (کشت مسطح خالص سیر) بود که با تیمار G_{RF100} (کشت خالص سیر در پشته و جوی) با میانگین ۹۸/۳ سانتی‌متر مکعب تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۸). به‌طور کلی، تیمارهای خالص سیر، حجم پیاز بیشتری نسبت به تیمارهای ترکیبی با سیاهدانه داشتند. از بین اجزای اصلی عملکرد سیر، حجم پیاز مهم‌ترین شاخص فنولوژیک برای شناخت توان عملکردی سیر است (Oliveira et al., 2021). در آزمایشی تحت تأثیر تیمارهای کود زیستی، حجم پیاز سیر از ۱۹۶ تا ۲۶۵ سانتی‌متر مکعب متغیر بود (Rezvani Moghaddam et al., 2015).



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر حجم پیاز سیر (LSD= ۸/۶۰)

Fig. 8- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the bulb volume of garlic (LSD= 8.60)

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

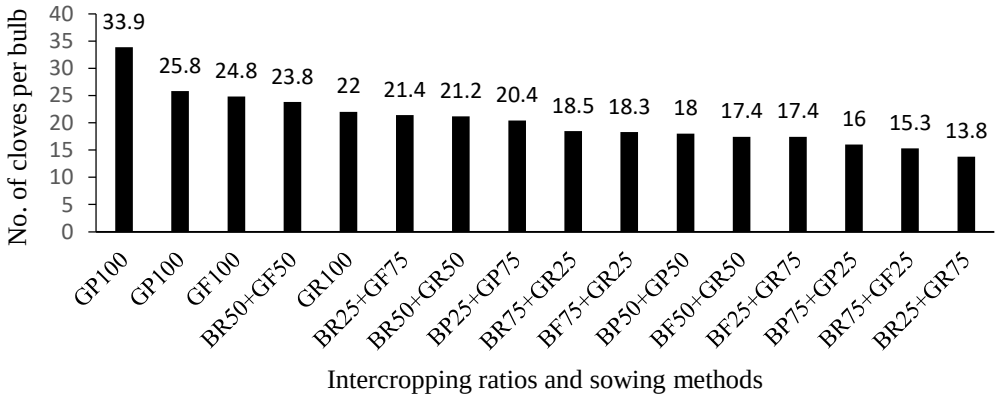
Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

BR75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، GR100: کشت خالص سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، GF100: کشت خالص سیر (کاشت سیر در جوی)، BP75+GP25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کشت مسطح)، BP50+GP50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح)، GP100: کشت خالص سیر (کشت مسطح)، GRF100: کشت خالص سیر (کشت در جوی و در پشته).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), GR100: Sole garlic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), GF100: Sole garlic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing), GP100: Sole garlic (Plane sowing), GRF100: Sole garlic (Sowing in furrows and on ridges).

تعداد سیرچه: تعداد سیرچه در پیاز سیر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت (جدول ۴). بالاترین تعداد سیرچه (۳۳/۹ سیرچه در پیاز) مربوط به تیمار G_{P100} (کشت مسطح خالص سیر) بود که با پایین‌ترین تعداد سیرچه (۱۳/۸ سیرچه در پیاز) که متعلق به تیمار $B_{R25}+G_{R75}$ (۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر روی پشته) بود، ۱۴۵ درصد تفاوت داشت (شکل ۹). تیمارهای G_{RF100}(با میانگین ۲۵/۸ سیرچه در پیاز) و G_{F100} (با میانگین ۲۵/۸ سیرچه در پیاز) بعد از تیمارهای برتر قرار گرفتند که البته به‌طور معنی‌داری از تیمار برتر پایین‌تر بودند. تیمارهایی با ترکیب ۵۰ درصد سیاهدانه و ۵۰ درصد سیر در الگوهای مختلف کاشت مانند $B_{R50}+G_{F50}$و $B_{R50}+G_{R50}$ از نظر تعداد سیرچه در حد میانه تیمارها قرار گرفتند. به‌طور کلی، تیمارهای خالص سیر عملکرد بهتری نسبت به تیمارهای ترکیبی داشتند. کشت مسطح خالص سیر (G_{P100}) و در رتبه بعدی کشت سیر در جوی و پشته (G_{RF100}) بالاترین تعداد سیرچه را داشتند. در آزمایشی، بیشترین تعداد سیرچه در کم‌ترین تراکم به دست آمد (Fakhar et al., 2019)، درحالی‌که در این آزمایش، تیمار G_{RF100} (کشت سیر هم در جوی و هم در پشته)، با وجود داشتن بالاترین تراکم در میان تیمارها، در عین حال دارای یکی از بیشترین تعداد سیرچه‌ها در میان تیمارها بود. شاید علت نتایج متفاوت بین دو آزمایش آن باشد که در تیمار G_{RF100} با وجود تراکم بالا به‌علت ایجاد جوی و پشته، سطح خاکی که در معرض تابش نور آفتاب قرار گرفت در مقایسه با کشت مسطح بیشتر بود و از سوی دیگر جداسازی و فاصله فیزیکی بیشتری که بوته‌های سیر با کاشت در جوی و کاشت در پشته پیدا می‌کنند، ممکن است باعث کاهش رقابت میان آن‌ها شده باشد. عملکرد ضعیف‌تر برخی تیمارهای پشته‌ای مانند $B_{R25}+G_{R75}$ ممکن است به‌دلیل آسیب‌پذیری بیشتر سیرچه‌ها در مقابل برخی از تنش‌ها باشد. برای نمونه ممکن است تنش سرما بر پیازهای سیری که بر روی پشته‌ها کشت شدند، آسیب بیشتری نسبت به کشت مسطح وارد سازد، زیرا در کشت بر روی پشته ،پیاز سیر هم از سمت بالا و هم از سمت کناره‌های پشته تحت تأثیر تنش سرما و نوسانات دمایی قرار می‌گیرد، ولی در کشت مسطح تنش سرما و نوسانات دمایی فقط از سمت بالا اعمال می‌گردد. همچنین ممکن است بر روی پشته‌ها در مقایسه با کشت مسطح با گذر زمان تجمع نمک‌ها (تنش شوری) و تجمع ترکیبات سمی بیشتر باشد که این باعث تنش به سیرچه‌ها خواهد شد. تیمارهای خالص سیر به‌طور معنی‌داری بهتر از تیمارهای ترکیبی عمل کردند که نشان‌دهنده حساسیت سیر به رقابت با سیاهدانه است. در پژوهشی، بالاترین تعداد سیرچه در پیاز سیر (۴۸/۷) با کاربرد کودهای زیستی و ریزمغذی‌ها به دست آمد (Kumar et al., 2025). همچنین در آزمایش صورت‌گرفته در رامهرمز خوزستان، تعداد سیرچه در پیاز سیر تحت تأثیر مدیریت تغذیه‌ای و مواد آلی ۲۹/۹ و با مهار علف‌های هرز ۲۸/۵ گزارش گردید (Zahedipour et al., 2023).

وزن پیاز سیر: براساس نتایج حاصل از این پژوهش، اثر تیمارها بر وزن پیاز سیر معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بالاترین وزن پیاز سیر در تیمارهای کشت مسطح خالص سیر (G_{P100}) و کشت خالص سیر در جوی و پشته (G_{RF100}) بدون اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها مشاهده شد. پس از این دو تیمار، تیمار کشت خالص سیر بر روی پشته (G_{R100}) قرار گرفت (شکل ۱۰). با کاهش نسبت سیر در نسبت اختلاط و تغییر الگوی کاشت از مسطح به سایر الگوهای کاشت، وزن پیاز سیر به‌طور کلی کاهش یافت. کم‌ترین وزن پیاز سیر در تیمار $B_{R25}+G_{R75}$ (کشت هر دو گیاه روی پشته با نسبت ۲۵ درصد سیاهدانه – ۷۵ درصد سیر) مشاهده شد که نسبت به تیمار G_{P100} که بالاترین وزن پیاز سیر را داشت، ۷۳ درصد اختلاف داشت. نتایج نشان داد که کشت خالص سیر (چه در شرایط مسطح و چه در پشته و جوی) بیشترین وزن پیاز را تولید کرد. در آزمایشی با افزایش تراکم سیر در واحد سطح، عملکرد سیر در واحد سطح افزایش یافت، ولی بین وزن پیاز با عملکرد پیاز همبستگی منفی مشاهده شد (Fakhar et al., 2019). به عبارت دیگر، افزایش تراکم و رقابت درون‌گونه‌ای باعث کاهش وزن پیاز سیر شد ، ولی افزایش عملکرد ناشی از افزایش بوته در واحد سطح به اندازه‌ای بوده است که نه‌تنها باعث جبران کاهش وزن پیاز سیر شد، بلکه در نهایت افزایش عملکرد در واحد سطح را به دنبال داشت. پیشنهاد می‌شود در آزمایشات آینده، نوسانات دمایی در سطح خاک در الگوهای مختلف کاشت و میزان همبستگی آن با وزن پیاز در گیاه سیر مورد بررسی قرار گیرد. در پژوهشی با کاربرد ریزمغذی‌ها و کودهای زیستی، بیشترین وزن پیاز سیر ۳۵/۵ گرم گزارش شد (Kumar et al., 2025). در پژوهشی تحت تأثیر مهار علف‌های هرز، وزن پیاز سیر ۲۸/۰ گرم و با مدیریت مواد آلی و عناصر غذایی ۲۹/۹ گرم گزارش شد (Zahedipour et al., 2023).



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر تعداد سیرچه در پیاز سیر

Fig. 9- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the number of cloves per bulb of garlic (LSD= 5.83)

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

BR75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، GR100: کشت خالص سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، GF100: کشت خالص سیر (کاشت سیر در جوی)، BP75+GP25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کشت مسطح)، BP50+GP50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح)، GP100: کشت خالص سیر (کشت مسطح)، GRF100: کشت خالص سیر (کشت در جوی و در پشته).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), GR100: Sole garlic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), GF100: Sole garlic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing), GP100: Sole garlic (Plane sowing), GRF100: Sole garlic (Sowing in furrows and on ridges).

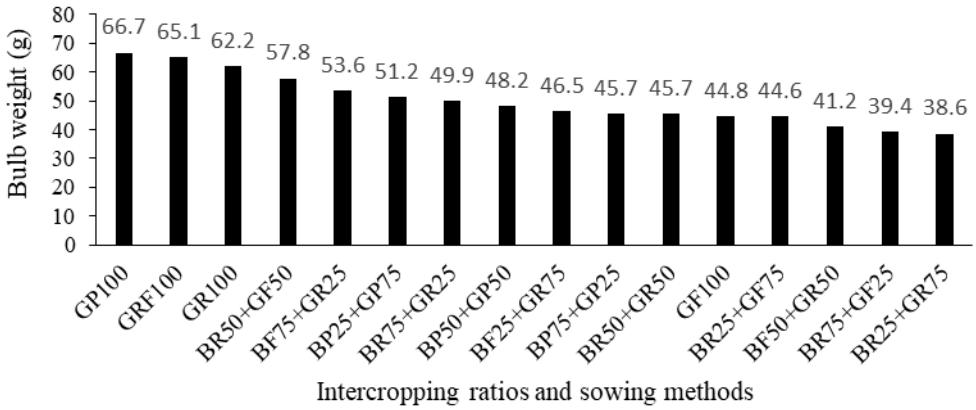
جدول ۵- آنالیز واریانس صفات آزمایشی سیر

Table 5- Analysis of variance for the traits examined in garlic

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares			
		وزن پیاز سیر Bulb weight	طول سیرچه Clove length	قطر سیرچه Clove diameter	عملکرد سیر Garlic yeild
تکرار Replication	2	92.0 ^{ns}	0.051 ^{ns}	0.197*	142148 ^{ns}
تیمار Treatment	15	231**	0.051**	0.079 ^{ns}	39006895**
خطا Error	30	29.2	0.018	0.045	253784
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		10.8	5.28	11.2	8.81

^{ns}، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

** ,* and ^{ns}: respectively indicate significance at 1%, 5% level and non-significance.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر وزن پیاز سیر (LSD= ۹/۰۲)

Fig. 10- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the bulb weight of garlic (LSD= 9.02)

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

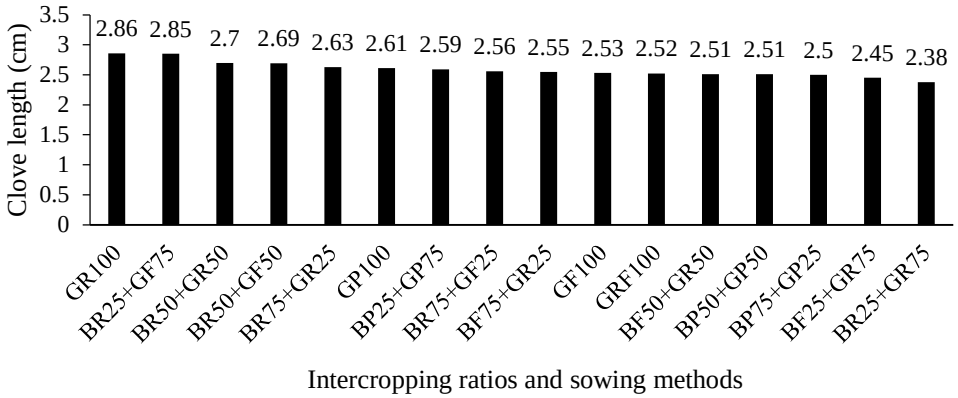
Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

BR75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، GR100: کشت خالص سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، GF100: کشت خالص سیر (کاشت سیر در جوی)، BP75+GP25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کشت مسطح)، BP50+GP50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح)، GP100: کشت خالص سیر (کشت مسطح)، GRF100: کشت خالص سیر (کشت در جوی و در پشته).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), GR100: Sole garlic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), GF100: Sole garlic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing), GP100: Sole garlic (Plane sowing), GRF100: Sole garlic (Sowing in furrows and on ridges).

طول سیرچه: نتایج این تحقیق نشان داد که طول سیرچه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت (جدول ۵). براساس نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱۱)، بالاترین طول سیرچه در تیمار کشت خالص سیر بر روی پشته (G_{R100}) مشاهده شد و در رتبه‌های بعدی به‌ترتیب تیمارهای $B_{R25}+G_{F75}$، $B_{R50}+G_{R50}$ و $B_{R50}+G_{F50}$ قرار گرفتند. کم‌ترین طول سیرچه در تیمار $B_{R25}+G_{R75}$ ثبت شد که نسبت به تیمار G_{R100} که بالاترین طول سیرچه را داشت ۲۰ درصد تفاوت نشان داد. تیمار G_{R100} (کشت خالص سیر روی پشته) بیشترین طول سیرچه را داشت که شاید به‌علت دسترسی آسان‌تر به نور نسبت به کشت مسطح باشد که باعث می‌شود میزان فرآورده‌های فتوسنتزی بیشتری در حین تشکیل سیرچه‌ها در دسترس باشد. در تأیید این مطلب مشاهده شد که در کشت خالص سیر در شرایط مسطح (G_{P100}) و کشت در جوی و پشته (G_{RF100}) طول سیرچه کمتری نسبت به G_{R100} (کشت خالص سیر روی پشته) وجود داشت. وجه تمایز مشترک تیمارهای مذکور با G_{R100} وجود کشت سیر در درون جوی بود که دسترسی به نور را سخت‌تر می‌ساخت. تیمار $B_{R25}+G_{F75}$ (کشت مخلوط با نسبت ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر در الگوی کاشت سیاهدانه روی پشته و سیر در جوی) عملکردی نزدیک به کشت خالص سیر داشت. این نتایج نشان می‌دهد که کاهش نسبت سیاهدانه و انتخاب الگوی مناسب کاشت می‌تواند رقابت بین دو گیاه را به حداقل برساند. با توجه به روند مقایسه میانگین‌ها در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان داشت که

نسبت‌های بالای سیاهدانه (درصد۵۰ و ۷۵ درصد) به‌ویژه در الگوهای نامناسب (مانند کشت هر دو گیاه روی پشته) طول سیرچه را کاهش دادند. در آزمایشی، ویژگی‌های ۲۰ ژنوتیپ سیر مورد ارزیابی قرار گرفت و حداکثر، حداقل و میانگین طول سیرچه به‌ترتیب ۲/۹، ۱/۹۴ و ۲/۴۲ سانتی‌متر گزارش شد (Fufa et al., 2025). در پژوهشی دیگر هفت ژنوتیپ سیر مورد بررسی قرار گرفتند و حداکثر، حداقل و میانگین طول سیرچه‌ها به‌ترتیب ۲/۲۶، ۰/۹۴ و ۱/۴۰ سانتی‌متر بود (Kaur et al., 2025).



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر طول سیرچه (LSD= ۰/۲۲۸)

Fig. 11- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the clove length of garlic (LSD= 0.228)

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

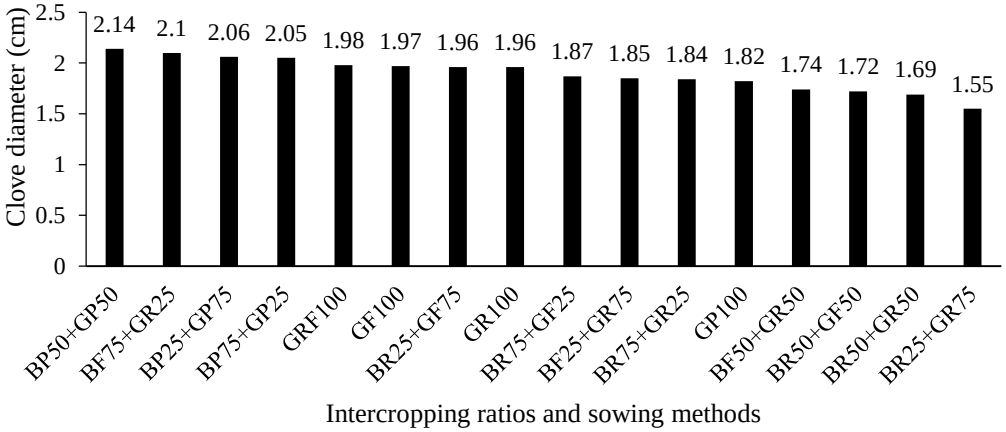
Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

BR75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، GR100: کشت خالص سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، GF100: کشت خالص سیر (کاشت سیر در جوی)، BP75+GP25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کشت مسطح)، BP50+GP50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح)، GP100: کشت خالص سیر (کشت مسطح)، GRF100: کشت خالص سیر (کشت در جوی و در پشته).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), GR100: Sole garlic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), GF100: Sole garlic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing), GP100: Sole garlic (Plane sowing), GRF100: Sole garlic (Sowing in furrows and on ridges).

قطر سیرچه: نتایج آنالیز واریانس مشخص نمود که تیمارهای آزمایش اثر معنی‌دار بر قطر سیرچه نداشتند (جدول ۵). عدم معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های اختلاط و الگوهای کاشت، ممکن است به این دلیل باشد که قطر سیرچه یک صفت به نسبت پایدار است که کمتر تحت تأثیر شرایط محیطی و رقابتی قرار می‌گیرد. دامنه تغییرات کم بین تیمارها (از۱/۵۵ تا ۲/۱۴ سانتی‌متر) نشان می‌دهد که این صفت از حساسیت کمتری نسبت به سایر صفات (مانند وزن پیاز) برخوردار است. هر چند تفاوت میان تیمارها از نظر آماری معنی‌دار نشد، ولی روند مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱۲) نشان داد که کشت‌های مسطح ($B_{P50}+G_{P50}$، $B_{P25}+G_{P75}$ و $B_{P75}+G_{P25}$) قطر سیرچه

بالاتری داشتند که ممکن است نشان‌دهنده تأثیر مثبت یکنواختی توزیع رطوبت در این سیستم باشد. نتیجه آزمایش روی هفت رقم سیر نشان داد که در بین آن‌ها بیشترین، کم‌ترین و میانگین قطر سیرچه به‌ترتیب ۲/۱۵، ۱/۱۷ و ۱/۴۶ بود (Kaur et al., 2025). در پژوهشی دیگر، ۲۰ ژنوتیپ سیر مورد بررسی قرار گرفتند و بیشترین، کم‌ترین و میانگین قطر سیرچه به‌ترتیب ۱/۳۴، ۰/۷۰ و ۰/۹۷ بود (Fufa et al., 2025).



شکل ۱۲- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر قطر سیرچه (LSD= ۰/۳۴۵)

Fig. 12- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the clove diameter of garlic (LSD= 0.354)

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

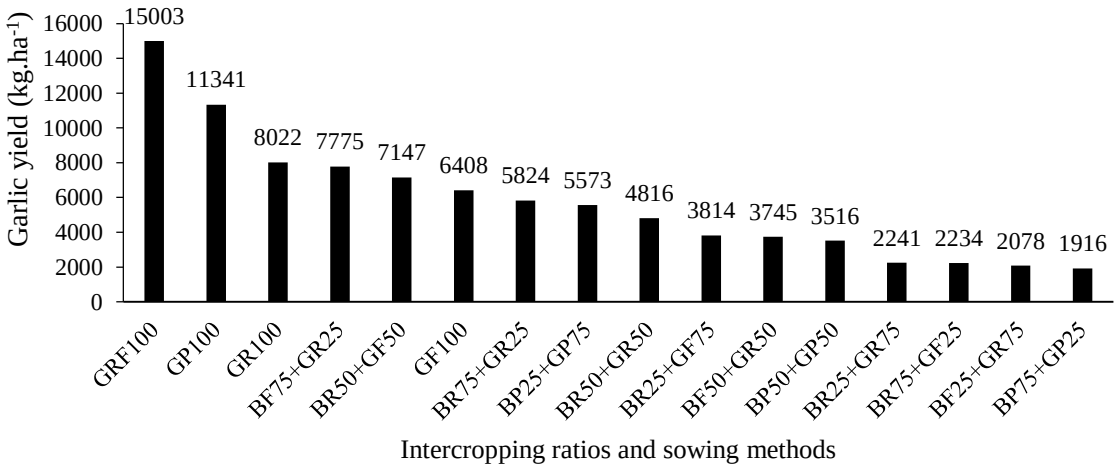
BR75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، GR100: کشت خالص سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، GF100: کشت خالص سیر (کاشت سیر در جوی)، BP75+GP25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کشت مسطح)، BP50+GP50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح)، GP100: کشت خالص سیر (کشت مسطح)، GRF100: کشت خالص سیر (کشت در جوی و در پشته).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), GR100: Sole garlic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), GF100: Sole garlic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing), GP100: Sole garlic (Plane sowing), GRF100: Sole garlic (Sowing in furrows and on ridges).

عملکرد سیر: نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اثر تیمارهای آزمایش بر عملکرد سیر معنی‌دار گردید (جدول ۵). بالاترین عملکرد مربوط به کشت خالص سیر در جوی و پشته (G_{RF100}) با میانگین ۱۵۰۰۳ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین به‌ترتیب تیمارهای کشت مسطح خالص سیر (G_{P100}) و یا کشت خالص سیر در جوی (G_{F100}) و کشت خالص سیر بر روی پشته (G_{R100}) در مرتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۱۳). با کاهش نسبت سیر در کشت مخلوط، عملکرد آن کاهش یافت. در نسبت ۷۵ درصد سیر + ۲۵ درصد سیاهدانه، عملکرد سیر بین ۵۵۷۳ تا ۷۱۴۷ کیلوگرم در هکتار متغیر بود که بسته به روش کاشت (پشته، مسطح یا جوی) تفاوت معنی‌داری نشان داد.

در این گروه، تیمار $B_{R25}+G_{R75}$ (هر دو گیاه بر روی پشته) بیشترین عملکرد را داشت. در نسبت ۵۰ درصد سیر + ۵۰ درصد سیاهدانه، عملکرد سیر به‌طور قابل توجهی کاهش یافت و بین ۳۵۱۶ تا ۴۸۱۶ کیلوگرم در هکتار ثبت شد. کم‌ترین عملکرد سیر در نسبت ۲۵ درصد سیر + ۷۵ درصد سیاهدانه مشاهده شد که در تمام روش‌های کاشت به‌طور میانگین کمتر از ۲۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. بین بالاترین عملکرد در تیمار G_{RF100} و کمترین عملکرد در تیمار $B_{R75}+G_{F25}$، ۷۸۳ درصد تفاوت وجود داشت. شاید یکی از دلایل عمده بالاتر بودن عملکرد در تیمار کشت خالص سیر (به‌ویژه در سیستم کاشت هم درون جوی و روی پشته)، افزایش دو برابری تراکم بوته در واحد سطح به‌واسطه کشت هم‌زمان بوته‌های سیر، هم در جوی و هم در پشته‌ها بود. این موضوع نشان‌دهنده آن است که شاید سیر به‌واسطه شاخص سطح برگ پایین، تاب‌آوری بیشتر برای افزایش تراکم در واحد سطح را دارا باشد. در پژوهشی، هفت فاصله کاشت (تراکم) در سیر مورد بررسی قرار گرفت و بالاترین عملکرد سیر در کم‌ترین فاصله کاشت (بالاترین تراکم) به دست آمد (Fakhar et al., 2019). بعد از کشت‌های خالص، روش کاشت هر دو گیاه بر روی پشته ($B_{R25}+G_{R75}$) نسبت به سایر روش‌های کشت مخلوط عملکرد بهتری نشان داد که احتمال دارد به‌دلیل توزیع مناسب‌تر فضا برای رشد بیشتر ریشه و کاهش رقابت باشد. در آزمایشی کشت مخلوط دو رقم سیر (بلدی و Sids-40) با باقلا (*Vicia faba* L.) با سه روش مختلف شامل کاشت سیر بر روی پشته به‌صورت متناوب با باقلا، کاشت سیر در سمت جنوبی خطوط به‌صورت متناوب با باقلا و کاشت سیر در سمت شمالی خطوط به‌صورت متناوب با باقلا مورد بررسی قرار گرفت. بالاترین عملکرد سیر (به‌ویژه رقم بلدی)، بیشترین کاهش جمعیت آفات و بالاترین نسبت برابری زمین و درآمد خالص در تیمار کاشت سیر روی خطوط بالایی مشاهده شد (Elshamy & Abd El-Aty, 2021). در پژوهشی تحت تأثیر سطوح آبیاری و کاربرد ورمی کمپوست، بالاترین و کم‌ترین عملکرد سیر به‌ترتیب ۵۰۸۰ و ۱۵۲۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (Ahmadian et al., 2018). در بررسی دیگر تحت تأثیر مدیریت تغذیه‌ای و مواد آلی، عملکرد سیر ۱۴۸۵ گرم در متر مربع و با مهار علف هرز ۱۳۹۱ گرم در متر مربع گزارش گردید (Zahedipour et al., 2023). در ارزیابی ۱۸ توده محلی سیر ایرانی، بالاترین عملکرد در توده سولان (۱۲۰۹۰ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین عملکرد در توده رامهرمز (۲۰۵۹ کیلوگرم در هکتار) مشاهده گردید (Alemkhoumaram et al., 2019). در آزمایشی اثر سطوح مختلف کود نیتروژن و گوگرد بر گیاه سیر مورد ارزیابی قرار گرفت و بالاترین و کم‌ترین عملکرد سیر به‌ترتیب ۱۴۵۸۳ و ۷۱۴۸ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (Seilsepour, 2021). در ارزیابی ۲۰ ژنوتیپ سیر بالاترین، کم‌ترین و میانگین عملکرد سیر به‌ترتیب ۱۱/۳، ۳/۲۳ و ۶/۶۱ تن در هکتار به دست آمد (Fufa et al., 2025).

نسبت برابری زمین (LER): طبق نتایج این تحقیق، تیمارها اثر معنی‌داری بر نسبت برابری زمین داشتند (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های LER برای عملکرد دانه سیاهدانه (شکل ۱۴) نشان داد که تیمار $B_{R75}+G_{F25}$ با میانگین ۰/۷۲۲ دارای بالاترین نسبت برابری زمین برای عملکرد دانه سیاهدانه بود. این تیمار که شامل کشت ۷۵ درصد سیاهدانه روی پشته و ۲۵ درصد سیر در جوی بود، به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها بهتر عمل کرد. تیمارهای $B_{P75}+G_{P25}$ (۰/۶۵۹) و $B_{R50}+G_{F50}$ (۰/۶۰۲) نیز نسبت برابری زمین به‌نسبت خوبی داشتند. در مقابل، تیمار $B_{R25}+G_{F75}$ با میانگین ۰/۱۳۲ کم‌ترین نسبت برابری زمین را نشان داد. برای عملکرد سیر، تیمار $B_{R25}+G_{R75}$ با میانگین ۰/۹۲۳ بهترین نسبت برابری زمین را داشت (شکل ۱۵). این تیمار شامل کشت ۲۵ درصد سیاهدانه و ۷۵ درصد سیر روی پشته بود. تیمارهای $B_{F25}+G_{R75}$ (۰/۷۱۶) و $B_{R25}+G_{F75}$ (۰/۷۰۷) نیز نسبت برابری زمین مناسبی نشان دادند. کم‌ترین نسبت برابری زمین سیر مربوط به تیمار $B_{P75}+G_{P25}$ با میانگین ۰/۱۹۸ بود. برای کل کشت مخلوط سیر و سیاهدانه، نسبت برابری زمین بیشتر از یک در چندین تیمار نشان‌دهنده مزیت کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است (شکل ۱۶). ارزیابی نسبت برابری زمین کل در کشت مخلوط سیر و سیاهدانه نشان داد که تیمارهای $B_{R50}+G_{F50}$ (۱/۲۱) و $B_{R25}+G_{R75}$ (۱/۱۹) بالاترین نسبت برابری زمین کل را داشتند و و به‌ترتیب ۲۱ و ۱۹ درصد باعث افزایش عملکرد شده‌اند، این نتایج نشان داد که این تیمارها از کارآیی بالایی در استفاده از زمین برخوردار بودند. در مقابل، تیمار $B_{P50}+G_{P50}$ با نسبت برابری زمین ۰/۷۴۱، کم‌ترین نسبت برابری زمین را داشت. نتایج نشان داد که روش کاشت تأثیر قابل توجهی بر نسبت برابری زمین هر دو گیاه داشت.



شکل ۱۳- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر عملکرد سیر (LSD= ۸٤۰)

Fig. 13- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the garlic yield of garlic (LSD= 840)

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

BR75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، GR100: کشت خالص سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، GF100: کشت خالص سیر (کاشت سیر در جوی)، BP75+GP25: ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کشت مسطح)، BP50+GP50: ۵۰ درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: ۲۵ درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح)، GP100: کشت خالص سیر (کشت مسطح)، GRF100: کشت خالص سیر (کشت در جوی و در پشته).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), GR100: Sole garlic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), GF100: Sole garlic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing), GP100: Sole garlic (Plane sowing), GRF100: Sole garlic (Sowing in furrows and on ridges).

کشت در جوی و پشته به‌طور کلی نسبت برابری زمین بهتری نسبت به کشت مسطح داشت. ممکن است توزیع بهتر ریشه‌ها در سیستم کاشت در جوی-پشته، بهبود زهکشی و تهویه خاک، کاهش رقابت برای نور و مواد مغذی از دلایل این برتری باشد. نسبت‌های مختلف اختلاط تأثیر متفاوتی بر نسبت برابری زمین دو گیاه داشتند. در سیاهدانه، تیمارهایی با سهم بالاتر نسبت اختلاط (۷۵ درصد) نسبت برابری زمین بهتری داشتند. در سیر نیز تیمارهایی با سهم پایین‌تر سیاهدانه در نسبت‌های اختلاط (۲۵ درصد)، نسبت برابری زمین مطلوب‌تری ایجاد کردند. در مجموع، بهترین نسبت برابری زمین در تیمار $B_{R50}+G_{F50}$ (نسبت اختلاط ۵۰:۵۰ دو گیاه با کاشت سیاهدانه روی پشته و کاشت سیر در جوی) مشاهده شد. دلیل این برتری این ترکیب تیماری نسبت به سایر تیمارها شاید آن باشد که در این سیستم کارآیی استفاده از منابع افزایش یافته و رقابت بین دو گیاه به حداقل رسیده است. مطالعات نشان داده است که کشت مخلوط سیر، آفات را در محصولات مزرعه‌ای توت‌فرنگی کاهش می‌دهد. کشت مخلوط سیر در بین گیاهان توت‌فرنگی، نسبت برابری زمین و درآمد ناخالص را افزایش داد.

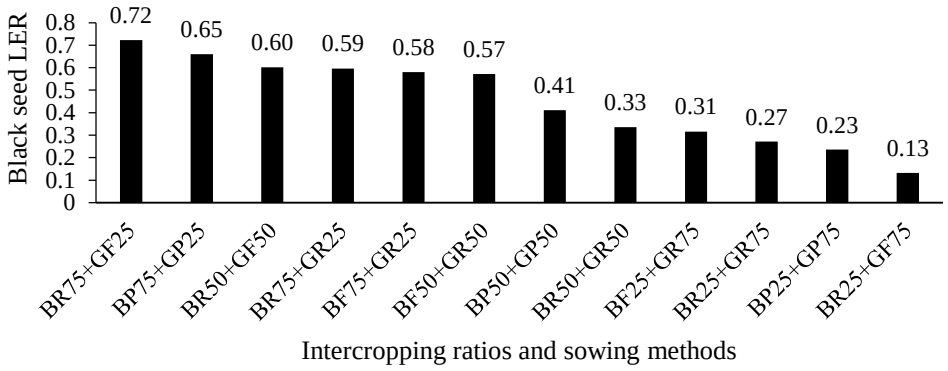
جدول ٦- آنالیز واریانس نسبت برابری زمین و شاخص رقابت در کشت مخلوط سیاهدانه و سیر

Table 6- Analysis of variance (ANOVA) of land equivalent ratio (LER) and competition index (CI) in black seed and garlic intercropping

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares			
		نسبت برابری زمین سیاهدانه Black seed LER	نسبت برابری زمین سیر Garlic LER	نسبت برابری زمین کل Total LER	شاخص رقابت Competition index (CI)
تکرار Replication	2	0.004 ns	0.027**	0.020 ns	0.011 ns
تیمار Treatment	11	0.110**	0.156**	0.069**	2.01**
خطا Error	22	0.005	0.002	0.011	0.035
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		16.9	10.6	11.2	11.4

ns، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

**, * and ns: respectively indicate significance at 1%, 5% level and non-significance.



شکل ١٤- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر نسبت برابری زمین سیاهدانه (LSD= ۰/۱۲۹)

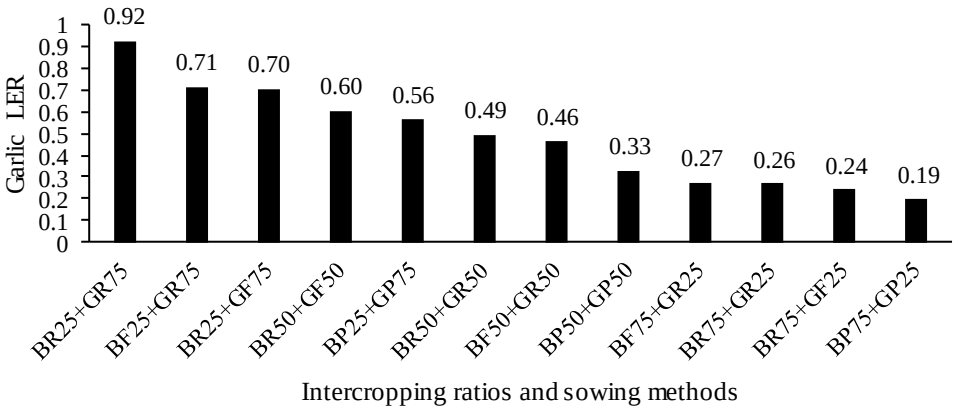
Fig. 14- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the LER of black seed (LSD= 0.129)

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

BR75+GR25: درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BP75+GP25: درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کشت مسطح)، BP50+GP50: درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing).



شکل ۱۵- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر نسبت برابری زمین سیر (LSD= ۰/۰۸۶)

Fig. 15- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the LER of garlic (LSD= 0.086)

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

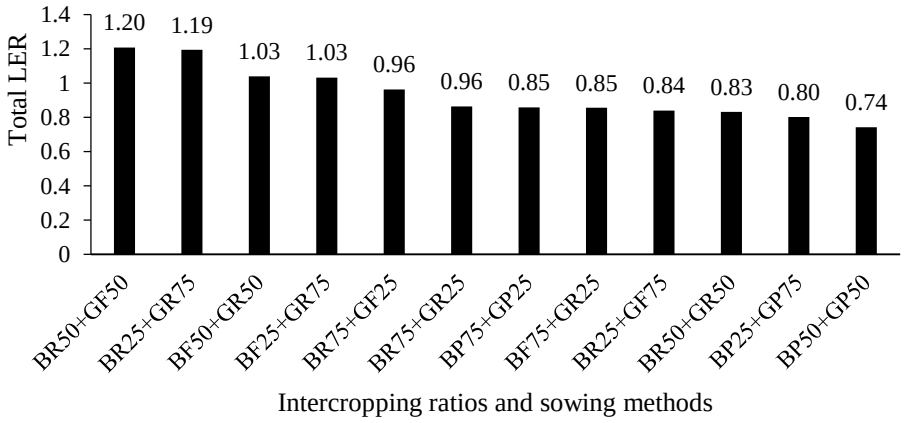
BR75+GR25: درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BP75+GP25: درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کشت مسطح)، BP50+GP50: درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing).

شاخص نسبت برابری زمین در کشت مخلوط از ۱/۳۴ تا ۲/۵۵ متغیر بود و با افزایش تراکم بوته سیر در کشت مخلوط با توت فرنگی، افزایش درآمد ناخالص مشاهده شد (Hata et al., 2019). در آزمایشی کشت مخلوط سیر و نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) هم به‌صورت جایگزینی و هم به‌صورت افزایشی در دو ناحیه متفاوت (ساری و گنبد کاووس) انجام گردید. همه شاخص‌های ارزیابی از جمله نسبت برابری زمین، اثر مفید کشت مخلوط دو گیاه را تأیید کردند (Abbasian et al., 2019).

شاخص رقابت: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اثر تیمارهای آزمایش بر شاخص رقابت معنی‌دار شد (جدول ۶). براساس نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱۷) تیمار $B_{P50}+G_{P50}$ (کشت مسطح با نسبت ۵۰ درصد سیاهدانه و ۵۰ درصد سیر) با اختلاف معنی‌دار نسبت به سایر تیمارها، بالاترین مقدار شاخص رقابت را نشان داد و به‌ترتیب تیمارهای $B_{P75}+G_{P25}$، $B_{P25}+G_{P75}$ و $B_{F75}+G_{R25}$ نیز در مرتبه بعدی قرار گرفتند که نشان‌دهنده رقابت شدید در این تیمارها است. در مقابل، تیمار $B_{R50}+G_{F50}$ دارای کم‌ترین شاخص رقابت بود که بیانگر کم‌ترین سطح رقابت بین دو گیاه در این روش کاشت است. سایر تیمارها مانند $B_{F25}+G_{R75}$ و $B_{R25}+G_{R75}$ دارای شاخص رقابت متوسط بودند. تیمارهای $B_{P50}+G_{P50}$، $B_{P75}+G_{P25}$ و $B_{P25}+G_{P75}$ بیشترین شاخص رقابت را داشتند که نشان می‌دهد کشت مسطح منجر به رقابت شدید بین دو گیاه می‌شود. این شاید به‌دلیل توزیع یکسان ریشه‌ها و سایه‌اندازی متقابل در این روش باشد که منابع مورد نیاز را محدود می‌کند. تیمار $B_{R50}+G_{F50}$ (۵۰ درصد سیاهدانه روی پشته + ۵۰ درصد سیر در جوی‌ها) کم‌ترین شاخص رقابت را داشت که نشان‌دهنده بهترین تعادل در بهره‌وری منابع و کاهش رقابت است. احتمال دارد که این روش کاشت با توزیع فضایی بهتر ریشه‌ها

و کاهش تداخل گیاهان همراه بوده است. در کشت مسطح، تیمارهایی با نسبت ۵۰:۵۰ ($B_{P50}+G_{P50}$) بیشترین رقابت را نشان دادند، درحالی‌که در کشت پشته‌ای، نسبت ۵۰:۵۰ ($B_{R50}+G_{F50}$) کم‌ترین رقابت را داشت. این نتایج نشان‌دهنده آن است که نسبت اختلاط به‌تنهایی تعیین‌کننده نیست، بلکه روش کاشت نیز نقش کلیدی دارد. تیمارهایی با نسبت بالای سیاهدانه (۷۵ درصد) مانند $B_{R75}+G_{F25}$ شاخص رقابت کمتری نسبت به کشت مسطح داشتند که می‌تواند ناشی از مدیریت بهتر فضای رشد در سیستم کشت بر روی پشته باشد. در کل، کشت مسطح به‌ویژه با نسبت‌های متعادل ۵۰:۵۰، بیشترین رقابت را ایجاد می‌کند و در کشت مخلوط سیر و سیاهدانه، تیمار $B_{R50}+G_{F50}$ دارای کم‌ترین سطح رقابت میان سیر و سیاهدانه بود.



شکل ۱۶- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر نسبت برابری زمین کل (LSD=۰/۱۷۸)

Fig. 16- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the LER of total (LSD= 0.178)

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

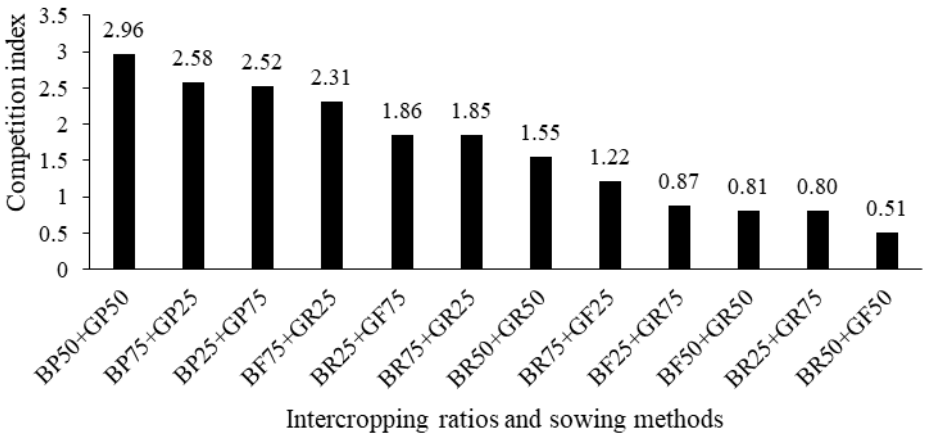
BR75+GR25: درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BP75+GP25: درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت مسطح)، BP50+GP50: درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing).

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که روش کاشت و نسبت اختلاط تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیک سیر در کشت مخلوط با سیاهدانه دارد. کشت خالص سیر در سیستم جوی و پشته به‌دلیل عدم رقابت برون گونه‌ای، بهترین عملکرد را ارائه کرد. بااین حال، کشت مخلوط با نسبت‌های متعادل (مانند ۵۰ درصد سیر و ۵۰ درصد سیاهدانه) و الگوی کاشت بهینه (سیاهدانه روی پشته و سیر در جوی) می‌تواند با کاهش رقابت و افزایش کارآیی استفاده از زمین، به‌عنوان یک روش پایدار و اقتصادی مورد توجه قرار گیرد. نتایج حاکی از آن است که انتخاب صحیح روش کاشت و مدیریت نسبت اختلاط می‌تواند تعادل مناسبی بین عملکرد سیر و بهره‌وری سیستم زراعی ایجاد کند. این یافته‌ها می‌توانند راهنمای مفیدی برای

کشاورزان در جهت بهینه‌سازی تولید سیر در شـرایط کشـت مخلـوط باشند.



شکل ۱۷- مقایسه میانگین اثر نسبت اختلاط سیر و سیاهدانه و روش کاشت بر شاخص رقابت (LSD= ۰/۳۲۱)

Fig. 17- Mean comparison of the effect of the intercropping ratios of garlic and black seed and the sowing method on the competition index (LSD= 0.321)

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح ۵ درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

BR75+GR25: درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR50+GR50: درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت بر روی پشته)، BR25+GR75: درصد سیاهدانه + درصد ۷۵ سیر (کاشت بر روی پشته)، BF75+GR25: درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF50+GR50: درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BF25+GR75: درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه در جوی و سیر بر روی پشته)، BR75+GF25: درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR50+GF50: درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BR25+GF75: درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کاشت سیاهدانه بر روی پشته و سیر در جوی)، BP75+GP25: درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیر (کشت مسطح)، BP50+GP50: درصد سیاهدانه + ۵۰ درصد سیر (کشت مسطح)، BP25+GP75: درصد سیاهدانه + ۷۵ درصد سیر (کشت مسطح).

BR75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Sowing on ridge), BR50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Sowing on ridge), BR25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Sowing on ridge), BF75+GR25: 75% black seed + 25% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF50+GR50: 50% black seed + 50% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BF25+GR75: 25% black seed + 75% galic (Black seed in furrows/garlic on ridges), BR75+GF25: 75% black seed + 25% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR50+GF50: 50% black seed + 50% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BR25+GF75: 25% black seed + 75% galic (Black seed on ridges/garlic in furrows), BP75+GP25: 75% black seed + 25% galic (Plane sowing), BP50+GP50: 50% black seed + 50% galic (Plane sowing), BP25+GP75: 25% black seed + 75% galic (Plane sowing).

سپاسگزاری

از دانشگاه علوم کشاورزی و منـابع طبیعـی خوزسـتان به‌واسـطه کمک و یاری‌رسانی جهت اجرای این تحقیق کمال تشکر و قـدردانی را دارد.

References

1. Abbasian, A., Nakhzari Moghadam, A., Pirdashti, H., & Gholamaliopur Alamdari, E. (2019). Estimation the yield and intercropping indices of garlic (*Allium sativum* L.) and peas (*Pisum sativum* L.) in two regions of Sari and Gonbad Kavoos. *Journal of Agroecology*, *11*(3), 1049-1067. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jag.v11i3.71547
2. Akbarpour, A., Kavoosi, B., Hosseinifarahi, M., Tahmasebi, S., & Gholipour, S. (2021). Evaluation of yield and phytochemical content of different Iranian garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *8*(4), 385-400. https://doi.org/10.22059/ijhst.2020.303657.373
3. Ahmadian, A., Salari, A., Mousavi, Z., & Kaveh, H. (2018). Effect of different levels of stress and vermicompost

fertilizer on yield, yield component and active compound of allicin in garlic medicinal herbs. *Journal of Water and Soil Conservation*, *25*(1), 215-227. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22069/JWSC.2018.14167.2889

4. Alemkhoumaram, M.H., Keshtkar, A.H., & Mirzaie Asl, A. (2019). Study of agromorphological diversity, and path analysis of bulb yield and allicin content of Iranian garlic landraces under Hamedan region. *Journal of Horticultural Science*, *33*(3), 481-497. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i3.77676
5. Chatterjee, G., Kumar Saha, A., Khurshid, S., & Saha, A., (2025). A comprehensive review of the antioxidant, antimicrobial, and therapeutic efficacies of black cumin (*Nigella sativa* L.) seed oil and its thymoquinone. *Journal of Medicinal Food*, *28*(4), 325-339. https://doi.org/10.1089/jmf.2024.k.0149
6. Elshamy, M.A., & Abd El-Aty, H.S. (2021). Effect of intercropping between garlic and faba bean on yield and infestation by some piercing-sucking insect pests. *Journal of Plant Protection and Pathology*, *12*(9), 663-670. https://doi.org/10.21608/jppp.2021.203163
7. Fakhar, F., Biabani, A., Zarei, M., & Nakhzari Moghadam, A. (2019). Effects of cultivar and planting spacing on yield and yield components of garlic (*Allium sativum* L.), *Italian Journal of Agronomy*, *14*(2),108-113. https://doi.org/10.4081/ija.2019.1303
8. Fufa, N., Tsagaye, D., Ali, A., Wegayehu, G., & Fikre, D. (2025). Assessing genetic variability and heritability in genotypes of garlic (*Allium sativum* L.) for bulb yield and related traits. *Asian Journal of Agriculture and Allied Sciences*, *8*(1), 1-13. https://doi.org/10.56557/ajaas/2025/v8i147
9. Goyal, H., Bafna, A., Vyas, N., & Gupta, R. (2025). Effect of soluble silica on the plant growth, leaves chlorophyll content and bulb quality of the garlic (*Allium sativum* L.) against drought stress. *Indian Journal of Agricultural Research*, *59*(1), 85-91. https://doi.org/10.18805/IJARe.A-5889
10. Han, M., Zhang, Z., Yang, H., Du, J., Wu, X., & Fu, Y. (2025). The effect of intercropping with *Eucommia ulmoides* on the growth and quality of *Abelmoschus manihot* and its rhizosphere microbial community. *Agronomy*, *15*(4), 863. https://doi.org/10.3390/agronomy15040863
11. Hata, F.T., Ventura, M.U., Paula, M.T., Shimizu, G.D., Paula, J.C.B., Kussaba, D.A.O., & Souza, N.V. (2019). Intercropping garlic in strawberry fields improves land equivalent ratio and gross income. *Crop Production, Ciencia Rural*, *49*(12), 1-8. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190338
12. Hlasna Cepkova, P., Hoang, T.N., Konvalina, P., Muhlbachova, G., Capouchova, I., Svoboda, P., Cermak, T., & Janovska, D. (2025). Impact of spring wheat varieties and legume species intercropping on organic wheat production. *Agronomy*, *15*(5), 1096. https://doi.org/10.3390/agronomy15051096
13. Immatong, P.S. & Elias, K.E. (2025). Performance of garlic (*Allium sativum* L.) varieties as affected by different shading materials. *International Journal of Research and Review*, *12*(4), 400-412. https://doi.org/10.52403/ijrr.20250447
14. Kakaei, M. (2023). Morphological evaluation of different local ecotypes of Iranian garlic (*Allium sativum* L.) under non-irrigated conditions in Asadabad region (Hamadan province). *Taxonomy and Biosystematics*, *15*(56), 95-112. (In Persian with English abstract). http://dx.doi.org/10.22108/TBJ.2024.141167.1255
15. Kaur, S., Singh, L., & Kaur, J. (2025). Assessment of garlic cultivars on the basis of genetic variability and heritability. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, *25*(7), 9–18. https://doi.org/10.9734/ajaar/2025/v25i7642
16. Khademi Astaneh, R., Bolandnazar, S., Zaare Nahandi, F., & Oustan, S. (2018). The effects of selenium on some physiological traits and K, Na concentration of garlic (*Allium sativum* L.) under NaCl stress. *Information Processing in Agriculture*, *5*(1), 156-161. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.09.003
17. Khatun, M.F., Islam, M.S., Ali, M.A., Ali, M.O., & Ahmed, Q.M. (2020). Intercropping garlic (*Allium sativum*) with chilli (*Capsicum annuum* L.) in the Haor area of Kishoreganj. *Bangladesh Agronomy Journal*, *23*(1), 75-81. https://doi.org/10.3329/baj.v23i1.50122
18. Kovacevic, T.K., Isic, N., Major, N., Krpan, M., Ban, D., Franic, M., & Goreta Ban, S. (2023). The interplay of physiological and biochemical response to short-term drought exposure in garlic (*Allium sativum* L.). *Plants*, *12*(18), 3215. https://doi.org/10.3390/plants12183215
19. Kumar, R., Shree, S., Kumar Singh, V., D., kumar, Sweta Rani, K., & Kumar Singh, A. (2025). Response of biofertilizers and micronutrients on growth and yield of garlic. *International Journal of Plant & Soil Science*, *37*(3), 134-40. https://doi.org/10.9734/ijpss/2025/v37i35354

20. Liu, H., Gao, X., Li, C., Cai, Y., Song, X., & Zhao, X. (2025). Intercropping increases plant water availability and water use efficiency. *A synthesis, Agriculture, Ecosystems & Environment*, *379*, 109360. https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109360
21. Oliveira, J.T., Oliveira, R.A. & Junior, M.R.F. (2021). Contribution of soil attributes and morphological variables to yield of irrigated garlic. *Engenharia Agricola*, *41*(2), 215-222. https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n2p215-222/2021
22. Raiszadeh, M., Abdali Mashhadi, A., Gharineh, M.H., Goodarzi, G.R., & Lotfi Jalalabadi, A. (2025). Investigating the effect of mulch on weed control and product quality in intercropping of stevia (*Stevia rebaudiana*) and Iranian borage (*Echium amoenum*). *Journal of Agroecology*, *17*(2), 341-359. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/agry.2025.91101.1224
23. Rezvani Moghaddam, P., Amiri, M.B., Norooziyan, A., & Ehyaee, H.R. (2015). Evaluation of two mycorrhiza species and nitroxin on yield and yield components of garlic (*Allium sativum* L.) in an ecological agroecosystem. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *13*(3), 435-447. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v13i3.51149
24. Samimi, F., Sharifi-Rigi, A., Dastghaib, S., Hazar, N., Zal, F., Siri, M., Namiranian, N., & Afkhami-Ardekani, M. (2025). The ameliorating effects of garlic (*Allium Sativum*) on blood glucose levels and lipid-related indices. *Iranian Journal of Diabetes and Obesity*, *17*(2), 141-149. https://doi.org/10.18502/ijdo.v17i2.18852
25. Seilsepour, M. (2021). Nitrogen and sulfur with Thiobacillus bacteria effects on garlic yield and garlic nitrate content and some nutrients availability in soil. *Journal of Horticultural Science*, *34*(4), 563-576. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v34i4.80398
26. Seyedi, S.M., & Hamzei, J. (2020). Evaluation of advantageous of sunflower-grain legume intercropping. *Journal of Crop Production*, *13*(1), 85-98. https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.17447.2289
27. Sun, X., Zhang, Y., Zhang, S., Yang, N., Xia, G., & Feng, L. (2025) Effect of strip width in maize/peanut intercropping on water use efficiency. *Frontiers Sustainable Food Systems*, *9*, 1502362. https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1502362
28. Torkaman, M., Mirshekari, B., Farahvash, F., Yarnia, M., & Jafari, A.A. (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. *Plant Production Technology*, *11*(2), 113-126. https://doi.org/10.22084/ppt.2018.14405.1759
29. Wang, X., Li, L., Wang, C., Wanga, Z., Li, M., Tan, X., Zhang, L., Wang, T., Zhou, Y., Xie, X., Qiu, S., Liao, Y., Kuai, J., Wang, B., Wang, J., Xu, Z. Zhao, J., & Zhou, G. (2025). Micro-ridge-furrow planting increases rapeseed yield and resource utilization efficiency through optimizing field microenvironment and light-nitrogen matching. *The Crop Journal*, *13*(2), 587-596. https://doi.org/10.1016/j.cj.2024.12.021
30. Xing, J., Liu, G., Zhai, W., Gou, T., Zhou, Z., Hu, A., Zhang, K., Bai, D., Ren, A., Gao, Z., & Sun, M. (2025). Optimized fertilizer management strategy based on ridge–furrow planting pattern enhances dryland wheat yield and water utilization on the Loess Plateau. *Agricultural Water Management*, *311*, 109391. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109391
31. Zahedipour, R., Khodaei Joghan, A., & Zare, A. (2023). Evaluation of periods of interference and weeds control in chemical and organic nutrition management on yield and yield components of garlic. *Plant Productions*, *46*(1), 105-115. https://doi.org/10.22055/ppd.2022.40244.2017

Contents

Effects of Chemical Pesticides on Weeds Population Dynamics, Species Richness and Biodiversity and Yield of Winter Wheat **361**
Hossein Karimpour, Ahmad Nezami, Mehdi Nassiri Mahallati, Amir Lakzian and Mohammad Farsi

Evaluation of Yield and Some Root and Morphological Characteristics Response of Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in Intercropping with Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under Nitrogen Fertilizer Management **381**
Mohammad Nasser Modoodi, Vahid Shamsabadi and Ebrahim Jahangir Dehborzoui

The Effect of Different Planting Systems on Seedling Growth, Quantitative Characteristics and Quality of Rice (*Oryza sativa* L.) in the Nursery and Field Conditions **403**
Omid Monemi Amiri, Soroor Khorramdel, Alireza Koocheki and Norman Uphoff

Study of Morphological Traits, Yield, and Yield Components of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars under Rainfed Conditions and Different Sowing Dates **421**
Esmail Nabizadeh, Saman Yezdan Seta, Rahim Sarkhosh and Khadijeh Ahmadi

Effect of Planting Pattern and Non-Chemical Weed Control Methods on Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Uptake Efficiency in Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) **439**
Mohammad Kabi, Esfandiar Fateh, Amir Aynehband and Adel Rafatijoo

Evaluation of Yield, Yield Components and Advantage Indices of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk) and Peanut (*Arachis hypogaea* L.) in Additive Series Intercropping **455**
Mehrangiz Jowkar Tang-Karami, Javad Taei-Semiromi and Nadia Bahremand

Effects of Water Deficit Stress and Exogenous 24-Epibrassinolide Foliar Application on Morphological Traits, Yield Components, Grain Yield, and Water Use Efficiency in Pinto Beans (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto) **473**
Sulmaz Samfar, Hojatollah Latifmanesh, Ali Moradi, Amin Mirshekari, Hamid Alahdadi and Azar Razaghnasab

Evaluation of Quality Characteristics and Yield of some Commercial Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Cultivars in Hamedan Province (Nahavand and Asadabad) **491**
Hamed Mansouri, Valiallah Yousefabadi, Hamze Hamze and Heydar Azizi

Impact of Intercropping Ratios and Sowing Methods on Yield and Characteristics of Garlic (*Allium sativum* L.) in Intercropping with Black Seed (*Nigella sativa* L.) **509**
Firouz Darooforoush, Alireza Abdali Mashhadi, Abdolmahdi Bakhshandeh, Amin Lotfi Jalal Abadi and Ali Ghatei

Journal of Agroecology (Quarterly)

Vol. 17 No. 3 2025

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

Editor in charge: Prof. Behnam Kamkar

Editor in chief: Prof. Parviz Rezvani Moghaddam

Internal manager: Dr. Surur Khorramdel

Editorial Board:

Dr. Amir Bezad Bazrgar, Post Doctorate Fellow, University of Guelph, Canada
Prof. Morteza Barmaki, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili
Prof. Mohammad Pessarakli, Research Professor, School of Plant Sciences, the University of Arizona
Prof. Hemmatolla Pirdashti, Genetic & Agricultural Biotechnologhy Institute of Tabarestan
Dr. Amir Hajjarpoor, Research scientist, Julius Kühn-Institut, Germany
Dr. Surur Khorramdel, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
Prof. Adel Dabagh Mohammadi Nasab, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
Prof. Mehdi Rastgoo, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
Prof. Parviz Rezvani Moghaddam, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
Prof. Ahmad Zare Feizabadi, Agricultural Research Institute of Khorasan Razavi
Prof. Saeed Zehtab Salmasi, New Mexico State University,USA
Dr. Hamid Shahandeh Research Soil Scientist, Soil and Crop Sciences Department, Texas A & M University
Dr. Omid Abdi, Department of Forest Sciences, University of Helsinki finland
Prof. Farshid Ghaderifar, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources
Prof. Mansour Ghorbanpour, Faculty of Agriculture, University of Arak
Prof. Behnam Kamkar, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
Prof. Mohamma Reza Moradi Telavat, Agricultural Sciences & Natural Resources University of Khuzestan
Dr. Ahmad Mosaddegh Manschadi, Associate Professor, Institute of Agronomy, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna
Prof. Mehdi Nassiri Mahallati, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad Press
Address: Journal of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad,
P.O. Box: 91775-1163, Mashhad, Iran
Tel: +98-51– 38804654
Fax: +98–51–38787430
Email: agroecology@um.ac.ir
Web site: http://agry.um.ac.ir

Ferdowsi University of Mashhad

Journal of Agroecology (Quarterly)

Vol. 17 No. 3

Fall 2025

ISSN: 2008-7713

Contents

Effects of Chemical Pesticides on Weeds Population Dynamics, Species Richness and Biodiversity and Yield of Winter Wheat 361
Hossein Karimpour, Ahmad Nezami, Mehdi Nassiri Mahallati, Amir Lakzian and Mohammad Farsi

Evaluation of Yield and Some Root and Morphological Characteristics Response of Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in Intercropping with Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under Nitrogen Fertilizer Management 381
Mohammad Nasser Modoodi, Vahid Shamsabadi and Ebrahim Jahangir Dehborzoui

The Effect of Different Planting Systems on Seedling Growth, Quantitative Characteristics and Quality of Rice (*Oryza sativa* L.) in the Nursery and Field Conditions 403
Omid Monemi Amiri, Soroor Khorramdel, Alireza Koocheki and Norman Uphoff

Study of Morphological Traits, Yield, and Yield Components of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars under Rainfed Conditions and Different Sowing Dates 421
Esmail Nabizadeh, Saman Yezdan Seta, Rahim Sarkhosh and Khadijeh Ahmadi

Effect of Planting Pattern and Non-Chemical Weed Control Methods on Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Uptake Efficiency in Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) 439
Mohammad Kabi, Esfandiar Fateh, Amir Aynehband and Adel Rafatijoo

Evaluation of Yield, Yield Components and Advantage Indices of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk) and Peanut (*Arachis hypogaea* L.) in Additive Series Intercropping 455
Mehrangiz Jowkar Tang-Karami, Javad Taei-Semiromi and Nadia Bahremand

Effects of Water Deficit Stress and Exogenous 24-Epibrassinolide Foliar Application on Morphological Traits, Yield Components, Grain Yield, and Water Use Efficiency in Pinto Beans (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto) 473
Sulmaz Samfar, Hojatollah Latifmanesh, Ali Moradi, Amin Mirshekari, Hamid Alahdadi and Azar Razaghnasab

Evaluation of Quality Characteristics and Yield of some Commercial Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Cultivars in Hamedan Province (Nahavand and Asadabad) 491
Hamed Mansouri, Valiallah Yousefabadi, Hamze Hamze and Heydar Azizi

Impact of Intercropping Ratios and Sowing Methods on Yield and Characteristics of Garlic (*Allium sativum* L.) in Intercropping with Black Seed (*Nigella sativa* L.) 509
Firouz Darooforoush, Alireza Abdali Mashhadi, Abdolmahdi Bakhshandeh, Amin Lotfi Jalal Abadi and Ali Ghatei