نشریه علمی
بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)

جلد ۱۵ شماره ۴
زمستان ۱۴۰۲

(شماره پیاپی ۵۸)

شاپا: ۲۰۰۸-۷۷۱۳

عنوان مقالات

ارزیابی کارایی مصرف آب در کشت مخلوط سه گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، پنبه (*Gossypium* spp.) و چغندر علوفه‌ای (*Beta vulgaris* subsp.vulgaris L.) ۶۴۵
علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، مریم جوادی و سید جلیل داورپناه

اثر محلول‌پاشی اوره، پرولین و اسید آسکوربیک روی خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد علوفه یونجه زرد (*Melilotus officinalis* L.) تحت شوری ۶۶۷
سجاد رحیمی، علیرضا پیرزاد و جلال جلیلیان

پاسخ مورفوفیزیولوژیکی و عملکردی کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild) به محلول‌پاشی برگی متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی ۶۸۵
محمد فروزنده، سهیل پارسا، علی ایرانلو و سهراب محمودی

پاسخ آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) به سیستم‌های تغذیه گیاهی در خاک تحت محلول‌پاشی با کود مایع آمینوفیش AMI 16، اسید فولویک و میکروکامل ۷۰۱
بهمن شجاعی کلجاهی، وحید مرادی و کامبیز عزیزپور

تأثیر برهم‌کنش کودهای شیمیایی و زیستی و کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین (*Zea mays* L. Var saccharata) و برخی شاخص‌های فعالیت بیولوژیکی خاک ۷۲۵
امیر اطلس رودی، سید عبدالرضا کاظمینی، محمدجعفر بحرانی و مژگان سپهری

ارزیابی پایداری زیست‌محیطی دو بوم‌نظام زراعی با رویکرد تحلیل ردپای بوم‌شناختی (مطالعه موردی: حوضه آبریز دز) ۷۴۱
نسیم زاده‌دباغ، سید مسعود منوری، نرگس کارگری، اهت تقوی و سعید پیرانه

بررسی روند تغییرات بلندمدت ردپای آب در محصول گندم (*Triticum aestivum* L.) و هندوانه (*Citrullus lanatus*) در استان سیستان و بلوچستان ۷۵۷
ویدا ورناصری قندعلی، محمود رمرودی، فاطمه کاراندیش، محمد گلوی و توحید علیقلی‌یا

بهبود خصوصیات کمی، کیفی و کارایی زراعی فسفر در سویا (*Glycine max* L.) ۷۷۱
صادق وحدت مسعود و محمد علی ابوطالبیان

اثر کاربرد سطوح مختلف کودهای شیمیایی و کود مرغی پلیت شده بر عملکرد و کیفیت دانه آفتابگردان آجیلی (*Helianthus annuus* L.) در شرایط ستندج ۷۹۱
احمد ناصری و غلامرضا حیدری

اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مصرفی مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) شهرستان بندر ترکمن، استان گلستان ۸۱۱
مارال نیازمرادی، حسین کاظمی، جاوید قرخلو، افشین سلطانی و بهنام کامکار

شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب در چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) بهاره در پاسخ به تیمارهای تاریخ کشت و آبیاری با استفاده از مدل SUCROS ۸۲۷
اسماعیل محمدی احمدمحمودی و سجاد رحیمی مقدم

پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر تناسب اراضی کشت کلزا (*Brassica napus* L.) در استان مازندران با استفاده از مدل‌های ریز مقیاس نمایی SDSM و Lars-WG ۸۴۵
محسن آب‌شناس، بهنام کامکار، افشین سلطانی و حسین کاظمی

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.

جلد۱۵ شماره٤ زمستان ۱٤۰۲

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: ۰۵۱-۳۸۸۰۴۶۵۴ **نمابر:** ۰۵۱-۳۸۷۸۷۴۳۰
پست الکترونیکی: agroecology@um.ac.ir **آدرس سایت:** https;//agry.um.ac.ir

این نشریه در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:
پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC) پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) 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

ارزیابی کارایی مصرف آب در کشت مخلوط سه گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، پنبه (*Gossypium* spp.) و چغندر علوفه‌ای (*Beta vulgaris* subsp.vulgaris L.) ٦٤٥

علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، مریم جوادی و سید جلیل داورپناه

اثر محلول‌پاشی اوره، پرولین و اسید آسکوربیک روی خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد علوفه یونجه زرد (*Melilotus officinalis* L.) تحت شوری ٦٦٧

سجاد رحیمی، علیرضا پیرزاد و جلال جلیلیان

پاسخ مورفوفیزیولوژیکی و عملکردی کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild) به محلول‌پاشی برگی متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی ٦٨٥

محمد فروزنده، سهیل پارسا، علی ایزانلو و سهراب محمودی

پاسخ آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) به سیستم‌های تغذیه گیاهی در خاک تحت محلول‌پاشی با کود مایع آمینوفیش AMI 16، اسید فولویک و میکروکامل ٧٠١

بهمن شجاعی کلجاهی، وحید سرابی و کامبیز عزیزپور

تأثیر برهم‌کنش کودهای شیمیایی و زیستی و کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین (*Zea mays* L. Var saccharata) و برخی شاخص‌های فعالیت بیولوژیکی خاک ٧٢٥

امیر اطلس‌رودی، سید عبدالرضا کاظمینی، محمدجعفر بحرانی و مژگان سپهری

ارزیابی پایداری زیست‌محیطی دو بوم‌نظام زراعی با رویکرد تحلیل ردپای بوم‌شناختی (مطالعه موردی: حوضه آبریز دز) ٧٤١

نسیم زاده‌دباغ، سید مسعود منوری، نرگس کارگری، لعبت تقوی و سعید پیراسته

بررسی روند تغییرات بلندمدت ردپای آب در محصول گندم (*Triticum aestivum* L.) و هندوانه (*Citrullus lanatus*) در استان سیستان و بلوچستان ٧٥٧

ویدا ورناصری قندعلی، محمود رمرودی، فاطمه کاراندیش، محمد گلوی و توحید علیقلی‌نیا

بهبود خصوصیات کمی، کیفی و کارایی زراعی فسفر در سویا (*Glycine max* L.) ٧٧١

صادق وحدت مسعود و محمد علی ابوطالبیان

اثر کاربرد سطوح مختلف کودهای شیمیایی و کود مرغی پلیت شده بر عملکرد و کیفیت دانه آفتابگردان آجیلی (*Helianthus annuus* L.) در شرایط سنندج ٧٩١

احمد ناصری و غلامرضا حیدری

اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مصرفی مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) شهرستان بندر ترکمن، استان گلستان ٨١١

مارال نیازمرادی، حسین کاظمی، جاوید قرخلو، افشین سلطانی و بهنام کامکار

شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب در چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) بهاره در پاسخ به تیمارهای تاریخ کشت و آبیاری با استفاده از مدل SUCROS ٨٢٧

اسماعیل محمدی احمدمحمودی و سجاد رحیمی مقدم

پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر تناسب اراضی کشت کلزا (*Brassica napus* L.) در استان مازندران با استفاده از مدل‌های ریز مقیاس نمایی SDSM و Lars-WG ٨٤٥

محسن آب شناس، بهنام کامکار، افشین سلطانی و حسین کاظمی

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

Research Article
Vol. 15, No. 4, 2024, p. 643-663

Evaluation of Water Use Efficiency in Intercropping of Sunflower (*Helianthus annuus* L.), Cotton (*Gossypium* spp.), and fodder Beet (*Beta vulgaris* subsp. vulgaris L.) based on the Traditional Pattern of Planting in Khorasan

Alireza Koocheki[1*], Mehdi Nassiri Mahallati[2], Maryam Javadi[3] and Seyyed Jalil Davarpanah[4]

1- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Iran.
2- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Iran.
3- Ph.D. Student of Agro-Ecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Iran.
4- Ph.D. Student of Agro-Ecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Iran.
(*- Corresponding author Email: akooch@um.ac.ir)

Received: 20-01-2021
Revised: 10-07-2021
Accepted: 12-07-2021
Available Online: 25-01-2021

How to cite this article:
Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Javadi M., & Davarpanah, S.J. (2024). Evaluation of water use efficiency in intercropping of sunflower (*Helianthus annuus* L.), cotton (*Gossypium* spp.) and fodder beet (*Beta vulgaris* subsp. vulgaris L.) based on the traditional pattern of planting in Khorasan. *Journal of Agroecology*, *15*(4), 643-663. (in Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/agry.2021.68427.1014

Introduction

At present, farmers are facing problems of shrinking landholding size, degradation of natural resources, climatic vulnerabilities, and low financial returns due to escalating costs of cultivation and inefficient utilization of agro-inputs. Thus, production per unit area of land, time, and inputs needs to be improved by efficiently capturing the solar energy and carbon dioxide for conversion into economic products. In recent years, there has been increased interest in agricultural production systems in order to achieve high productivity and promote sustainability over time. Intercropping, as a common method in sustainable agricultural systems, plays an important role in increasing productivity and yield stability to improve the utilization of resources. One of the most important benefits of intercropping is increasing production per unit area compared with sole cropping. The reason for increasing the yield in the intercropping is the better use of environmental factors such as water, nutrients, and light. The present study was designed to investigate the effects of mixed and row intercropping on yield and yield components of sunflower, cotton, and fodder beet.

Materials and Methods

In order to study the effects of mixed and row intercropping of cotton, sunflower, and fodder beet on yield and yield components in three species, a split-plot experiment based on randomized complete blocks design with three replicates was performed in research farm of Ferdowsi University of Mashhad in 2017-2018. Cropping pattern (mixed or row intercropping) was allocated to the main plots and different planting ratios (50% Cotton +37.5% Sunflower +12.5% fodder beet, 50% Cotton +37.5% fodder beet +12.5% Sunflower, 33.3% Cotton +33.3% Sunflower +33.3% fodder beet, sole cropping of Cotton, sole cropping of Sunflower and sole cropping

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https:// doi.org/10.22067/agry.2021.68427.1014

of fodder beet) were assigned to the sub-plots. Yield and yield components, as well as indices such as Land Equivalent Ratio (LER) and Water Use Efficiency (WUE), were measured. SAS ver.9.1 was used to analyze data, and mean comparison was performed based on the Duncan test.

Results and Discussion

The results indicated that in the intercropping of cotton, fodder beet, and sunflower and in all plant ratios, the total LER was more than one. The highest LER was obtained in 50% cotton + 37.5% sunflower + 12.5% fodder beet ratio and in both mixed and row intercropping patterns. The lowest LER was observed in the ratio of 50% cotton + 37.5% fodder beet + 12.5% sunflower and the mixed intercropping pattern. The highest amount of LER in cotton was obtained in the ratio of 50% cotton + 37.5% fodder beet + 12.5% sunflower and in both methods of mixed and row intercropping and in the ratio of 50% cotton + 37.5% sunflower + 12.5 % fodder beet was obtained in row intercropping pattern. In 33.3% cotton + 33.3% fodder beet + 33.3% sunflower ratio, cotton had the lowest partial LER in both mix and row intercropping patterns. Among different ratios of cotton planting, sole cropping, with 0.32 kg / m^3, had the highest and ratio of 33.3% cotton + 33.3% fodder beet + 33.3% sunflower, with 0.13 kg / m3, had the lowest water use efficiency.

Conclusions

Due to the different morphology, phenology, and growth type of plants used in the present study, it seems that the intercropping of cotton-sunflower and fodder beet can increase the efficiency of using resources, especially water. So, intercropping is one of the highly promising approaches for enhancing agricultural productivity and profitability that can provide sustainability in the agricultural ecosystem. Intercropping reduces the risk of crop failure, improves productivity per unit area, improves profitability, and can provide a pathway to food security in vulnerable production systems.

Acknowledgments

This research (Grant No. 47291) was funded by Vice Chancellor for Research of the Ferdowsi University of Mashhad, which is hereby acknowledged.

Keywords: Sustainability, harvest index (HI), yield and yield components, land equivalent ratio (LER).

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ٦٦۳-٦٤۳

ارزیابی کارایی مصرف آب در کشت مخلوط سه گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، پنبه (*Gossypium* spp.) و چغندر علوفه‌ای (*Beta vulgaris* subsp.vulgaris L.)

علیرضا کوچکی[1*]، مهدی نصیری محلاتی[2]، مریم جوادی[3] و سید جلیل داورپناه[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۲

چکیده

به‌منظور ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد پنبه (*Gossypium* spp.)، آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و چغندر علوفه‌ای (*Beta vulgaris* subsp. vulgaris L.) تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷- ۱۳۹۶ انجام شد. دو الگوی کاشت درهم و ردیفی در کرت‌های اصلی و نسبت‌های مختلف کاشت (شامل ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان، ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای، ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان و کشت خالص هر یک از گونه‌ها) در کرت‌های فرعی تصادفی شدند. نتایج نشان داد که در کشت مخلوط پنبه، چغندر علوفه‌ای و آفتابگردان و در تمامی نسبت‌های مخلوط، مقدار LER کل بیشتر از یک بوده که این مسئله نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط مورد نظر از نظر کارایی استفاده از زمین، نسبت به کشت خالص می‌باشد. بیشترین نسبت برابری کل، در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای در هر دو الگوی کشت درهم و ردیفی بود و کمترین مقدار آن در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان و در الگوی کشت درهم مشاهده شد. در بررسی LER جزئی نیز، گیاه پنبه در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان در هر دو الگوی کشت درهم و ردیفی و در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای در الگوی کشت ردیفی بیشترین مقدار و در نسبت ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان در هر دو الگوی کشت درهم و ردیفی کمترین LER جزئی را داشت. در بین نسبت‌های مختلف کاشت پنبه نیز، کشت خالص با ۰/۳۲ مترمکعب در هکتار بیشترین و نسبت ۳۳/۳ درصد پنبه+ ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای+ ۳۳/۳ درصد آفتابگردان با ۰/۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب، کمترین مقدار کارایی مصرف آب را داشتند.

واژه‌های کلیدی: پایداری، شاخص برداشت، عملکرد و اجزای عملکرد، نسبت برابری زمین

۱- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۳- دانشجوی دکترای بوم‌شناسی زراعی (اگرواکولوژی)، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۴- دانشجوی دکترای بوم‌شناسی زراعی (اگرواکولوژی)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)

https:// doi.org/10.22067/agry.2021.68427.1014

مقدمه

حذف تدریجی تنوع از بوم‌نظام‌های زراعی موجب کاهش کارایی و بهره‌وری در این بوم نظام‌ها شده است. این در حالی است که مدیریت اکولوژیک در دراز مدت می‌تواند باعث پایداری تولید در بوم نظام‌های زراعی شود و علاوه‌بر جلوگیری از زوال سلامت محیط و تنوع زیستی، منابع پایه را برای تداوم بهره‌برداری حفظ کند (Rafei et al., 2017). کشت مخلوط راهکاری مناسب برای دسترسی به عملکرد بهینه با کمترین مصرف یا بدون مصرف نهاده‌های خارجی می‌باشد که در درازمدت می‌تواند افزایش پایداری را برای بوم‌نظام‌های زراعی به همراه داشته باشد (Koocheki et al., 2013). از طرفی، کشت مخلوط نقش مهمی در ایجاد تنوع، افزایش کارآیی استفاده از منابع و کاهش تداخل علف‌های هرز، حشرات و آفات دارد و در نهایت، سبب افزایش پایداری عملکرد می‌شود (Zaefarian & Bagheri, 2014). همچنین کشت مخلوط یکی از مؤثرترین راه‌ها برای بهبود بهره‌وری در سیستم‌های زراعی بوده (Chao Dai et al., 20122012; Poveda et al.,) و از مهم‌ترین مزیت‌های آن، بالاتر بودن کارایی استفاده از منابع به‌ویژه نور، آب و نیتروژن در مقایسه با کشت‌های خالص می‌باشد (YiKai et al., 2012). حضور چند گیاه در کشت مخلوط نسبت به یک گیاه در کشت خالص می‌تواند در صورت انتخاب درست گیاهان، میزان بیشتری از نور رسیده به زمین را جذب کرده تا افزایش تولید ماده خشک در واحد سطح را به دنبال داشته باشد (Keating et al., 1993). در تعریفی مناسب، کشت مخلوط به کشت دو یا تعداد بیشتری از محصولات زراعی با یکدیگر در یک قطعه زمین در یک زمان گفته می‌شود (Xin & Tong, 1986). لذا، شرط موفقیت در این نوع کشت این است که گونه‌های موجود در آن به‌شکل متفاوتی از منابع استفاده و به عبارت دیگر، آشیان‌های بوم‌شناختی متفاوتی داشته باشند، به‌گونه‌ای که این رشد واگرا موجب شود، گونه‌ها به‌شکل مکمل عمل کرده و بیشترین استفاده را از منابع محیطی داشته باشند. بنابراین، در طراحی کشت مخلوط، انتخاب گونه‌های گیاهی با خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی متفاوت بسیار مؤثر خواهد بود (Moradi et al., 2015).

پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)، یکی از مهم‌ترین گیاهان لیفی جهان می‌باشد که به‌دلیل ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک متفاوت قدرت سازگاری مناسبی در اقلیم‌های مختلف دارد (Dehghani et al., 2015). ارزش اقتصادی بالا و تقاضای زیاد برای فرآورده‌های پنبه، این گیاه را به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان اقتصادی مورد کشت و کار در جهان مطرح کرده است. با این وجود، بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۹۹)، در فاصله زمانی بین سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ سطح زیر کشت پنبه روند کاهشی داشته و از ۱۶۷ هزار به ۷۰ هزار هکتار رسیده است. همچنین میزان تولید (آبی و دیم) این محصول در این فاصله زمانی از ۴۲۰ به ۱۶۵ هزار تن کاهش یافته است. بنابراین خطر حذف این گیاه از برنامه کشت، خصوصاً در مناطقی مانند خراسان رضوی که در سال ۱۳۹۷ با ۲۳ هزار هکتار از نظر سطح زیر کشت در رتبه اول کشور قرار داشته، وجود دارد. بررسی بیشتر آمارها همچنین نشان می‌دهد که سطح کشت پنبه دیم در استان خراسان رضوی از سال ۱۳۸۲ تا سال ۱۳۹۷ به صفر رسیده است. بنابراین، با توجه به اهمیت پنبه در تنوع زیستی بوم‌نظام‌های کشاورزی، ترسیب کربن، افزایش نفوذپذیری خاک (با توجه به ریشه راست و عمیق) و همچنین برای صنایع وابسته (Dadmand et al., 2019)، به نظر می‌رسد به تلاش و تحقیقات بیشتری برای جلوگیری از کاهش سطح زیر کشت و تولید این محصول نیاز باشد.

یکی از راه‌های صرفه‌جویی در مصرف آب به‌خصوص در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند، افزایش کارایی مصرف آب می‌باشد که در کشت مخلوط گیاهان مختلف گزارش شده است (Tsubo et al., 2005). آزمایش‌های متعددی در زمینه بررسی عملکرد، اجزای عملکرد وکارایی مصرف منابع در کشت مخلوط پنبه با گیاهان مختلف انجام شده است. به‌طور مثال، طی آزمایشی که دادمند و همکاران (Dadmand etal., 2019) به‌منظور ارزیابی اثر کشت مخلوط بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی خصوصیات زراعی پنبه و ذرت (*Zea mays*) انجام دادند، مشاهده کردند که وزن غوزه، عملکرد وش و عملکرد بیولوژیک در کشت خالص پنبه به‌طور معنی‌داری از الگوهای کشت مخلوط دو ردیف پنبه + یک ردیف ذرت و سه ردیف پنبه + یک ردیف ذرت کمتر بود. همچنین، بیشترین کارایی مصرف آب با مقدار ۲/۲۱ کیلوگرم وش در مترمکعب آب در تیمار کشت سه ردیف پنبه + یک ردیف ذرت مشاهده شد که نسبت به کشت خالص، ۱/۲ برابر بیشتر بود. بیشترین سودمندی کشت مخلوط برای پنبه نیز در

کشت خالص پنبه و نسبت سه ردیف پنبه + یک ردیف ذرت و بیشترین مقدار نسبت برابری زمین (LER) در الگوی سه ردیف پنبه + یک ردیف ذرت مشاهده شد. سینگ و همکاران (Singh et al., 2007) نیز با انجام آزمایشی در کشور هند، به بررسی کارایی مصرف منابع در کشت مخلوط پنبه و بادام زمینی (*Arachis hypogaea*) پرداختند. نتایج این آزمایش نشان داد که در مقایسه با کشت خالص، کشت مخلوط پنبه و بادام زمینی، موجب افزایش بهره‌وری آب به میزان ۱۹ درصد و کارایی استفاده از عناصر به‌میزان ۱۵ تا ۲۰ درصد گردید. همچنین در این آزمایش میزان سودمندی اقتصادی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

در بررسی عملکرد و اجزای عملکرد پنبه در کشت مخلوط با گندم (*Triticum aestivum* L.) نیز ملاحظه شد که با افزایش تراکم گندم، میزان عملکرد اقتصادی و بیولوژیک پنبه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Zhang et al., 2007). به‌طوری‌که بعد از کشت خالص، بیشترین میزان عملکرد اقتصادی و بیولوژیک پنبه در نسبت سه ردیف گندم + دو ردیف پنبه و کمترین مقدار آن نیز در نسبت‌های سه ردیف گندم + یک ردیف پنبه و شش ردیف گندم + دو ردیف پنبه حاصل شد. به نظر می رسد به‌دلیل قرار گرفتن پنبه در سایه گندم در مرحله گیاهچه‌ای، این گیاه فرصت تأمین نور کافی برای توسعه برگ‌ها و در نتیجه، رشد مناسب را نداشته است. نتایج تحقیق بسم‌الله خان و همکاران (Bismillah khan et al., 2001)، نیز نشان داد که کشت مخلوط پنبه با ماش (*Vigna radiate* L.)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.)، سویا (*Glycine max* L.)، کنجد (*Sesamum indicum* L.)، ذرت و سورگوم (*Sorghum bicolor* L.)، موجب کاهش ارتفاع این گیاه در تمامی تیمارهای مخلوط نسبت به کشت خالص شد و کمترین ارتفاع پنبه در کشت مخلوط با کنجد به‌دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین تعداد غوزه و عملکرد وش پنبه در کشت خالص و کشت مخلوط پنبه با ماش و سویا به‌دست آمد و کمترین عملکرد پنبه در کشت مخلوط با کنجد حاصل شد که نسبت به کشت خالص ۶۷ درصد کاهش یافت.

نگاهی به تاریخچه کشت پنبه در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که کشاورزان سنتی در مناطق خشک استان نظیر شهرستان سبزوار در گذشته از سیستم‌های کشت مخلوط پنبه استفاده می‌کرده‌اند که یکی از انواع آن‌ها کشت سه گانه پنبه –آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) – چغندر علوفه‌ای (*Beta vulgaris* subsp. vulgaris L.) می‌باشد. بنابراین، با عنایت به مطالب فوق و با الگوبرداری از سیستم‌های کشت سنتی پنبه در منطقه خراسان و به منظور ارائه راهکارهایی برای افزایش عملکرد و پایداری در سیستم‌های زراعی، تحقیق حاضر جهت ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد گونه‌ها در مخلوط، مزیت مخلوط نسبت به خالص و نیز کارایی استفاده از آب در سیستم‌های کشت مخلوط پنبه، آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۷– ۱۳۹۶به‌صورت کرت‌های خرد شده و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد (با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) انجام شد. عامل کرت اصلی، شامل الگوی کاشت به دو صورت ردیفی و درهم و عامل کرت فرعی شامل نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و نیز کشت خالص سه گونه بود. الگوبرداری این طرح از سیستم‌های کشت مخلوط سنتی پنبه در خراسان صورت گرفت. بنابراین به‌دلیل اینکه در الگوی کشت مخلوط سنتی این گیاهان، گیاه پنبه به‌عنوان گیاه اصلی در نظر گرفته می‌شود، جهت ارزیابی کشت مخلوط، نسبت‌های مختلف کشت سه گونه پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) رقم خرداد، آفتابگردان(*Helianthus annuus* L.) رقم آلستار و چغندر علوفه‌ای (*Beta vulgaris* subsp. vulgaris L.) رقم کارا شامل؛ ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای، ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان و ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان و کشت خالص هر سه گیاه مورد بررسی قرار گرفت.

قبل از شروع آزمایش و به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری تصادفی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک انجام گرفت. نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ آمده است.

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

Table 1- Some physical and chemical properties of experimental site soil (depth 0-30 cm)

بافت Texture	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic C (%)
لومی رسی Clay loam	0.069	81.3	315	0.49	7.78	0.78

عملیات آماده‌سازی زمین و تهیه بستر کاشت به‌روش رایج و با اجرای شخم و دیسک انجام شد. کاشت بذرهای هر سه گونه به صورت همزمان و در اوایل اردیبهشت ماه به‌صورت دستی انجام گرفت. ابعاد هر کرت فرعی ۵ × ۵ متر، فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ و فاصله بین تکرارها یک متر در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن میانگین تراکم مناسب برای سه گیاه (۱۰ بوته در مترمربع)، فاصله روی ردیف برای هر سه گونه ۲۰ سانتی‌متر (Koocheki et al., 2019; Karimzade Asl et al., 20032017; Dadmand et al.,) و فاصله بین ردیف‌ها نیز ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و هر کرت فرعی شامل شش ردیف به‌طول پنج متر بود. لازم به ذکر است که برای کاشت گیاهان در کشت مخلوط درهم، با در نظر گرفتن ترکیب مخلوط و محاسبه نسبت وزنی، میزان بذر لازم از هر گونه برآورد و با دست در سطح کرت پخش و با لایه‌ای از خاک نرم پوشانده شد. (میزان بذر لازم برای کشت خالص درهم به‌ترتیب برای آفتابگردان، پنبه و چغندر علوفه‌ای معادل ۱/۵، ۱/۱ و ۰/۲ گرم در مترمربع بود که در نسبت‌های مختلف مخلوط نیز با توجه به سهم گیاه مورد نظر در مخلوط محاسبه و استفاده گردید).

اولین آبیاری نیز بلافاصله پس از کاشت با هدف تسهیل در خروج گیاهچه‌ها از خاک و آبیاری‌های بعدی به‌فاصله هر هشت روز یک بار به‌شیوه نشتی انجام شد. وجین علف‌های هرز در طی دوره رشد و در دو نوبت، به‌صورت دستی انجام شد و در مخلوط‌های ردیفی برای رسیدن به تراکم مورد نظر، گیاهان در مرحله چهار تا شش برگی تنک شدند. بر اساس آزمایش خاک و به‌منظور جلوگیری از کمبود عناصر غذایی، میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن) هم‌زمان و ۵۰ روز بعد از کاشت، مورد استفاده قرار گرفت و از سایر کودهای شیمیایی استفاده نشد.

در پایان فصل رشد (اواسط شهریور و اواخر مهر و آبان ماه به ترتیب برای آفتابگردان، پنبه و چغندر علوفه‌ای) در هنگام برداشت، خصوصیات رشدی و اجزای عملکرد پنبه شامل ارتفاع بوته‌ها، تعداد غوزه در بوته، عملکرد اقتصادی، عملکرد بیولوژیک و برای گیاه آفتابگردان نیز صفاتی مانند ارتفاع بوته‌ها، قطر طبق، متوسط تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد اقتصادی و بیولوژیک اندازه‌گیری و در نهایت، شاخص برداشت برای هر دو گونه محاسبه شد. در خصوص گیاه چغندر علوفه‌ای نیز صفاتی مانند وزن تر برگ، ریشه و عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری و ثبت گردید. لازم به ذکر است که تعیین عملکرد نهایی برای هر گیاه، با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای (حذف ۶۰ سانتی‌متر از طرفین و ابتدا و انتهای هر کرت) انجام شد.

کارایی مصرف آب از نسبت عملکرد اقتصادی (عملکرد وش، دانه و علوفه تر به‌ترتیب برای پنبه، آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای) به مجموع آب مصرفی در طول دوره رشد (معادله ۱) محاسبه شد (Tavassoly et al., 2010).

$$WUE = Yg / W \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، WUE: کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Yg: عملکرد (کیلوگرم در هکتار) و W: مجموع آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) در طی فصل رشد شامل آب آبیاری و بارندگی (۱۰۱ میلی متر) است که در این تحقیق مقدار آن برای همه کشت‌های خالص و مخلوط (درهم و ردیفی) یکسان در نظر گرفته شد. در طول فصل رشد و به‌منظور اندازه‌گیری حجم آب مصرفی در کرت‌های مورد نظر، در هر بار آبیاری از کنتور حجمی نصب شده در مسیر آبیاری استفاده شد. به‌دلیل یکسان بودن تعداد لوله‌های توزیع آب در تمامی کرت‌ها، آب به‌صورت یکنواخت در کرت‌ها توزیع گردیده و بنابراین، سهم هر گونه گیاهی بر اساس میزان سطح اشغال شده محاسبه گردید. برای تعیین میزان بارندگی در طول فصل رشد گیاهان مورد نظر نیز از داده‌های ایستگاه هواشناسی مشهد استفاده گردید.

برای ارزیابی کشت مخلوط پنبه، آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای در مقایسه با کشت خالص آن‌ها از شاخص نسبت برابری زمین (معادله ۲) استفاده شد (Mead & Willey, 1980).

$$LER = (Y_1/B_1)+(Y_2/B_2)+(Y_3/B_3) \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، LER: نسبت برابری زمین، Y_1,Y_2 و Y_3: به‌ترتیب عملکرد گونه‌های پنبه، آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای در کشت مخلوط درهم و ردیفی و B_1، B_2 و B_3: نیز به‌ترتیب عملکرد این سه گونه در کشت خالص (درهم و ردیفی) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ver.9.1 و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد به‌وسیله آزمون دانکن صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع، عملکرد و اجزای عملکرد پنبه

نتایج آزمایش نشان داد که اثر الگوی کاشت بر ارتفاع گیاه پنبه معنی‌دار است (جدول ۲)، به‌طوری‌که در کشت درهم نسبت به کشت ردیفی، ارتفاع پنبه ۱۶/۴ درصد کاهش یافت (جدول ۳). با توجه به حساسیت بالای گیاه پنبه در مرحله سبز شدن، به نظر می‌رسد عدم وجود آرایش مناسب گیاهی و همچنین قرار گرفتن بذور در شرایط نامناسب جوانه‌زنی در الگوی کشت درهم (Nurbakhsh et al., 2015)، موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن گیاه پنبه شده و در نتیجه، ارتفاع این گیاه را نیز تحت تأثیر قرار داده است. تغییر نسبت‌های کاشت نیز، ارتفاع پنبه را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. در بین نسبت‌های مورد استفاده در مخلوط، بیشترین ارتفاع بعد از کشت خالص، مربوط به نسبت‌های با ۵۰ درصد پنبه (۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان و ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای) بود و با کاهش نسبت پنبه در مخلوط، ارتفاع آن کاهش پیدا کرد (جدول ۳). به نظر می‌رسد، با افزایش تراکم آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای در مخلوط مورد نظر، سایه‌اندازی این گیاهان بر پنبه به‌خصوص در مراحل اولیه رشد افزایش یافته و در نتیجه، به‌دلیل عدم وجود نور کافی و حساسیت گیاه پنبه در مراحل اولیه رشد و همچنین رقابت بر سر منابع غذایی، ارتفاع آن کاهش یافته است. اثر متقابل الگو و نسبت‌های کاشت، تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع پنبه نداشت (جدول ۲). نتایج تحقیق بارزالی (Barzali., 2012) بر روی کشت مخلوط پنبه با گیاهان سویا، سورگوم و کنجد نیز نشان داد که با کاهش تراکم پنبه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی، ارتفاع گیاه پنبه نسبت به کشت خالص به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند.

الگوی کاشت به‌طور معنی‌داری تعداد غوزه در بوته پنبه را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲)، به‌طوری‌که در کشت ردیفی در مقایسه با کشت درهم، تعداد غوزه در بوته ۲۰/۳ درصد بیشتر بود که این مسئله نشان‌دهنده برتری کشت ردیفی نسبت به درهم می باشد (جدول ۳). در تمامی نسبت‌های مخلوط نیز، تعداد غوزه در بوته نسبت به کشت خالص به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بعد از کشت خالص، بیشترین تعداد غوزه در پنبه مربوط به مخلوط‌هایی با ۵۰ درصد پنبه (۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای+ ۱۲/۵ درصد آفتابگردان و ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای) و کمترین مقدار آن مربوط به‌نسبت ۳۳/۳ درصد پنبه (۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان) بود (جدول۳). اقبال و همکاران (Iqbal et al., 2007)، نیز با انجام آزمایشی روی کشت مخلوط پنبه با سویا و سورگوم، به این نتیجه رسیدند که با افزایش تراکم هرکدام از این گیاهان در کشت مخلوط، تعداد و وزن غوزه در پنبه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به نظر می‌رسد، حساسیت گیاه پنبه به سایه‌اندازی گونه‌های همراه در مراحل ابتدایی رشد، موجب بهره‌برداری کمتر این گیاه از منابع محیطی شده و این امر ارتفاع و همچنین تعداد غوزه در این گیاه را تحت تأثیر قرار داده است.

عملکرد اقتصادی پنبه در دو الگوی کشت ردیفی و درهم به‌طور معنی‌داری متفاوت بود (جدول ۲). به‌طوری‌که در الگوی کشت درهم نسبت به ردیفی ۲۷/۳ درصد کاهش پیدا کرد (جدول ۳). پایین بودن عملکرد کشت درهم در مقایسه با ردیفی در نتایج آزمایشات دیگر محققین نیز گزارش شده است و آن‌ها دلیل امر را آرایش بهتر گیاهان در الگوی کشت ردیفی در مقایسه با درهم و استفاده بهتر گیاهان از منابع به‌ویژه آب و نور دانسته‌اند (Ghaderi et al., 2001). نسبت‌های مختلف مخلوط نیز عملکرد اقتصادی پنبه را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. در بین نسبت‌های کاشت، کمترین مقدار عملکرد اقتصادی مربوط به تیمار با ۳۳/۳ درصد پنبه (۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان) و بیشترین آن مربوط به کشت خالص این گیاه بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد، دلیل پایین بودن عملکرد اقتصادی پنبه در نسبت‌های مخلوط در مقایسه با خالص، کاهش تراکم این گیاه در نسبت‌های مخلوط باشد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگو و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط پنبه، چغندر علوفه‌ای و افتابگردان بر عملکرد و اجزای عملکرد پنبه

Table 2- Results of analysis of variance (mean of squares) for planting pattern and different planting ratios of cotton, sunflower and fodder beet intercropping on yield and yield components of cotton

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع Height	تعداد غوزه No. bolls per plant	عملکرد اقتصادی Economic yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	کارایی مصرف آب WUE
تکرار Replication	2	5.66^{ns}	0.541^{ns}	5728.5^{ns}	118849.0^{ns}	0.620^{ns}	0.00012^{ns}
الگوی کاشت Planting pattern (P)	1	1048.0**	32.6**	1353940.0**	11611094.3**	20.7*	0.0293**
خطای (a) Error (a)	2	7.14	0.291	11951.3	449554.1	2.38	0.00026
نسبت‌های کاشت Planting ratios (R)	3	78.4**	6.38*	1672722.5**	29344134.5**	2.66^{ns}	0.0361**
الگوی کاشت× نسبت‌های کاشت P × R	3	6.86^{ns}	0.444^{ns}	49095.0^{ns}	692149.3^{ns}	4.69^{ns}	0.0010^{ns}
خطای (b) Error (b)	6	25.9	0.763	68842.8	1180106.6	1.94	0.0014

^{ns} ، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

^{ns}, ** and *: are non -significant and significant at α=0.05 and α=0.01, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد پنبه در کشت مخلوط سه گانه، پنبه، چغندر علوفه‌ای و آفتابگردان

Table 3- Mean comparison of yield and yield components of cotton in intercropped cotton, sunflower and fodder beet

	ارتفاع Height (cm)	تعداد غوزه در بوته No. bolls per plant	عملکرد اقتصادی Economic yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)
الگوی کاشت Planting pattern					
کشت ردیفی Row intercropping	80.4 ^{a}	11.8^{a}	1738.2 ^{a}	6563.8 ^{a}	26.8 ^{a}
کشت درهم Mixed intercropping	67.2 ^{b}	9.4 ^{b}	1263.2 ^{b}	5172.7 ^{b}	24.9 ^{b}
نسبت‌های کاشت Planting ratios					
Ia	74.3 ^{ab}	11.2 ^{a}	1476.6^{b}	5594.5 ^{b}	26.6 ^{a}
Ib	73.2^{bc}	10.5^{ab}	1428.8 ^{b}	5523.4 ^{b}	25.9 ^{a}
Ic	69.5^{c}	9.2^{b}	906.1^{c}	3504.9 ^{c}	25.9^{a}
Is	78.3 ^{a}	11.5^{a}	2191.4 ^{a}	8850.3 ^{a}	25 ^{a}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مربوط به هر فاکتور آزمایش، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Ia: ۵۰٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۱۲/۵٪ آفتابگردان. Ib: ۵۰٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ آفتابگردان ، ۱۲/۵٪ چغندر علوفه‌ای. Ic: ۳۳٪ پنبه، ۳۳ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۳۳ ٪ آفتابگردان. Ic: کشت خالص پنبه

* Similar letters in each column and for each experimental factor show non-significant differences according to Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

Ia: 50% cotton, 37.5% fodder beet and 12.5% sunflower, Ib: 50% cotton, 37.5% sunflower and 12.5% fodder beet, Ic: 33% cotton, 33% fodder beet and 33% sunflower, Is: Pur cotton.

زیرا در بررسی بیشتر نتایج و در نسبت‌های ۵۰ (۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای، ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان) و ۳۳ درصد پنبه (۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان)، به‌ترتیب با کاهش تراکم ۵۰ و ۶۶ درصد این گیاه نسبت به خالص، عملکرد اقتصادی ۳۵ و ۵۹ درصد کاهش یافته است. رافعی و همکاران (Rafei et al., 2017) نیز با انجام آزمایشی بر روی کشت مخلوط پنبه، ذرت و لوبیا به نتایج مشابهی دست یافتند. بدین ترتیب که کاهش تراکم پنبه به‌میزان ۵۰ درصد نسبت به کشت خالص، عملکرد پنبه را ۳۷ درصد کاهش داد. از میان دو شیوه کاشت، کشت ردیفی باعث بهبود عملکرد بیولوژیک گیاه پنبه به‌میزان ۲۱/۲ درصد نسبت به کشت درهم شد (جدول ۳). بررسی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نیز نشان داد که عملکرد بیولوژیک در این گیاه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفت. بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در کشت خالص و کمترین آن در نسبت ۳۳/۳ درصد پنبه (۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان) به‌دست آمد (جدول ۳). بررسی بیشتر نتایج همچنین نشان داد که کاهش تراکم پنبه به‌میزان ۵۰ و ۶۶ درصد، عملکرد بیولوژیک این گیاه را به‌ترتیب ۳۷ و ۶۰ درصد کاهش داد که این امر نشان می‌دهد کاهش عملکرد بیولوژیک در کشت مخلوط پنبه بیشتر به‌دلیل کاهش تراکم آن در نسبت‌های مورد نظر می‌باشد. در آزمایشی روی سطوح مختلف کود نیتروژن و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در گیاه پنبه نیز ملاحظه شد که با کاهش تراکم پنبه به‌میزان ۵۰ درصد و جایگزینی آن با گیاه ذرت در کشت مخلوط، عملکرد بیولوژیک پنبه ۴۸ درصد کاهش یافت (Koocheki et al., 2016). بررسی اثرات متقابل الگو و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نیز نشان داد که این اثرات متقابل، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک پنبه نداشت (جدول ۲).

شاخص برداشت پنبه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر الگوی کاشت این گیاه قرار گرفت (جدول ۲). در مقایسه دو الگوی کاشت مورد استفاده، الگوی کشت درهم نسبت به ردیفی باعث کاهش شاخص برداشت به‌میزان ۷/۱ درصد گردید (جدول ۳). طی آزمایشی، بررسی عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا در کشت مخلوط ردیفی و درهم با کنجد نشان داد که شاخص برداشت این گیاه در کشت مخلوط درهم

نسبت به ردیفی ۲۷ درصد کاهش پیدا کرد (Nurbakhsh et al., 2015). به نظر می‌رسد، آرایش فضایی مناسب گیاهان در کشت مخلوط ردیفی برخلاف کشت درهم، موجب به حداقل رساندن تداخلات درون و بین گونه‌ای در کشت مخلوط شده که این امر بهره برداری بیشتر از منابع موجود توسط گیاه را امکان‌پذیر کرده است. اثر نسبت‌های مختلف کشت و همچنین اثر متقابل الگو و نسبت‌های مختلف کشت بر شاخص برداشت پنبه معنی‌دار نبود (جدول ۲).

ارتفاع، عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان

الگوی کاشت و اثر متقابل الگو و نسبت‌های کشت مخلوط، تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه آفتابگردان نداشت (جدول ۴). بین نسبت‌های مختلف کاشت مخلوط نیز از نظر ارتفاع بوته آفتابگردان، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و ارتفاع گیاه در همه نسبت‌های مورد نظر تفاوت چندانی با کشت خالص نداشت (جدول ۵). نتایج تحقیق موسویان و سید محمدی (Mosavian & Seyed Mohamadi., 2015)، نیز نشان داد که ارتفاع گیاه آفتابگردان تحت تأثیر کشت مخلوط با ذرت قرار نگرفت و نسبت‌های مختلف کاشت، این شاخص را تحت تأثیر قرار نداد.

قطر طبق، وزن ۱۰۰ دانه و تعداد دانه در طبق، تحت تأثیر هیچکدام از تیمارهای الگو و نسبت‌های مختلف کاشت و اثرات متقابل آن قرار نگرفت (جدول ۴). نتایج تحقیق نصرالله‌زاده و همکاران (Nasrollah zadeh et al., 2017) نیز نشان داد که وزن ۱۰۰ دانه در گیاه آفتابگردان تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط این گیاه با لوبیا چیتی قرار نگرفت.

عملکرد اقتصادی تحت تأثیر هیچکدام از الگوهای کاشت ردیفی و درهم قرار نگرفت، امّا نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر آن داشت. بیشترین مقدار عملکرد اقتصادی در کشت خالص آفتابگردان و کمترین آن در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای+ ۱۲/۵ درصد آفتابگردان به‌دست آمد (جدول ۵). نسبت‌های ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان و ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای نیز بعد از کشت خالص، دارای بیشترین عملکرد اقتصادی بودند. به نظر می‌رسد دلیل پایین بودن عملکرد در نسبت‌های کمتر آفتابگردان، فقط پایین بودن تراکم این گیاه در مخلوط باشد. زیرا در نسبت‌های ۳۷/۵ و ۳۳/۵ درصد آفتابگردان و با کاهش تراکم این گیاه به ۶۲/۵ و ۶۶ درصد، عملکرد آن به‌ترتیب ۳۰ و ۳۲/۵ درصد کاهش یافته و در نسبت ۱۲/۵ درصد آفتابگردان که تراکم گیاه ۸۷/۵ درصد کاهش یافته، عملکرد ۶۵ درصد کمتر از کشت خالص بود. بنابراین، به نظر می‌رسد با کاهش تراکم آفتابگردان در نسبت‌های مخلوط، رقابت درون گونه‌ای این گیاه نسبت به خالص کاهش یافته و گیاه اثر تکمیل‌کنندگی بهتری با گیاهان مورد استفاده در مخلوط داشته است. قلی پور و شریفی (Gholipour & Sharifi., 2016) نیز با انجام آزمایشی بر روی کشت مخلوط آفتابگردان و لوبیا به نتایج مشابهی دست یافتند. در تحقیق نام‌برده نیز بیشترین مقدار عملکرد اقتصادی در کشت خالص آفتابگردان و کمترین مقدار آن در نسبت کشت ۷۵ درصد لوبیا + ۲۵ درصد آفتابگردان مشاهده شد که دلیل کمتر بودن عملکرد اقتصادی در این نسبت، کاهش تراکم گیاه در مخلوط مورد نظر بود. کاندهرو و همکاران (Kandhro et al., 2007) نیز بیان کردند که ۵۰ درصد افزایش تراکم گیاه ماش در کشت مخلوط با آفتابگردان، عملکرد اقتصادی آفتابگردان را ۲۲ درصد کاهش داد.

اثر الگوی کاشت بر عملکرد بیولوژیک گیاه آفتابگردان معنی‌دار نبود. امّا اثر نسبت‌های کاشت بر این شاخص معنی‌دار بود و با کاهش تراکم این گیاه به‌میزان ۸۷/۵ درصد در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای+ ۱۲/۵ درصد آفتابگردان در مقایسه با کشت خالص، عملکرد بیولوژیک ۶۷ درصد کاهش یافت (جدول ۵). در نسبت‌های مخلوط ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان و ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای نیز عملکرد بیولوژیک در مقایسه با خالص ۳۸ درصد کاهش یافت که دلیل آن کاهش تراکم گیاه در نسبت‌های مورد نظر بود. نتایج تحقیق کوچکی و همکاران (Koocheki et al. 2020) نشان داد که عملکرد بیولوژیک آفتابگردان در کشت مخلوط با لوبیا چیتی تحت تأثیر قرار نگرفت و ۵۰ درصد کاهش تراکم آفتابگردان نسبت به خالص، عملکرد بیولوژیک این گیاه را کاهش نداد. چنین به نظر می‌رسد که کاهش رقابت درون گونه‌ای در کشت مخلوط نسبت به خالص، توانسته است، کاهش تراکم گیاه را جبران نموده و بنابراین، عملکرد بیولوژیک در کشت مخلوط بیشتر ازمقدار مورد انتظار آن بوده است.

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگو و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط پنبه، چغندر علوفه‌ای و افتابگردان بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان

Table 4- Analysis of variance for planting pattern and different planting ratios of cotton, sunflower and fodder beet on yield and yield components of sunflower

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع Height	قطر طبق Head diameter	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	تعداد دانه در طبق No. seeds per head	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	کارایی مصرف آب WUE
تکرار Replication	2	28.5 ns	1.31 ns	0.136 ns	4117.9 ns	133354.4 ns	9919681.4 ns	70.8 ns	0.001 ns
الگوی کاشت Planting pattern (P)	1	28.8 ns	0.260 ns	1.81 ns	8217.7 ns	454520.3 ns	2856600.0 ns	7.70 ns	0.035**
خطای (a) A error	2	6.07	0.261	0.713	6380.1	30407.2	1613251.8	32.9	0.001
نسبت‌های کاشت Planting ratios (R)	3	69.4 ns	1.35 ns	0.522 ns	3178.7 ns	9095714.9**	114450775.5**	16.8 ns	0.072**
الگوی کاشت× نسبت‌های کاشت P × R	3	2.22 ns	0.463 ns	0.458 ns	510.8 ns	60728.7 ns	816431.5 ns	2.25 ns	0.003 ns
خطای (b) B error	6	80.3	0.462	1.09	4214.2	276247.3	4947517.9	12.0	0.002

ns، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns, **and*: are non -significant and significant at α=0.05 and α=0.01 respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان در کشت مخلوط سه گانه، پنبه، چغندر علوفه‌ای و آفتابگردان

Table 5- Mean comparison of yield and yield components of sunflower in intercropped cotton, sunflower and fodder beet

	ارتفاع Height (cm)	قطر طبق Head diameter (cm)	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight (g)	تعداد دانه در طبق No. seeds per head	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)
الگوی کاشت Planting pattern							
کشت ردیفی Row intercropping	180.3 a	9.9 a	14.4 a	887.5 a	3299.4 a	10608a	32 a*
کشت درهم Mixed intercropping	178.1 a	9.7a	14.9a	850.5 a	3024.2 a	9918 a	30.1a
نسبت‌های کاشت Planting ratios							
Ia	174.01 a	9.4 b	14.7 a	845.6 a	1628.5 c	5306c	30.5 a
Ib	181.2 a	9.6 ab	15.0 a	889.7 a	3241b	9883 b	33.2a
Ic	180.6a	9.8 ab	14.7 a	887.8 a	3136.1 b	9909b	32.4a
Is	180.7a	10.5 a	14.2 a	852.9 a	4641.6 a	15954 a	29.6a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مربوط به هر فاکتور آزمایش، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Ia: ۵۰ ٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۱۲/۵ ٪ آفتابگردان. Ib: ۵۰٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ آفتابگردان ، ۱۲/۵ ٪چغندر علوفه‌ای. Ic: ۳۳ ٪ پنبه، ۳۳ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۳۳ ٪ آفتابگردان. Ic: کشت خالص پنبه

* Similar letters in each column and for each experimental factor show non-significant differences according to Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

Ia: 50% cotton, 37.5% fodder beet, and 12.5% sunflower; Ib: 50% cotton, 37.5% sunflower, and 12.5% fodder beet, Ic: 33% cotton, 33% fodder beet and 33% sunflower, Is: Pur cotton.

بررسی شاخص برداشت گیاه آفتابگردان در کشت مخلوط نیز نشان داد که اثر روش، نسبت‌های مخلوط و اثرات متقابل این دو تأثیر معنی‌داری بر این شاخص نداشت (جدول ۴). در بررسی شاخص برداشت گیاه آفتابگردان در کشت مخلوط این گیاه با گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) نیز نتایج نشان داد که این شاخص تحت تأثیر هیچکدام از نسبت‌های مخلوط ۷۵ درصد گوار + ۲۵ درصد آفتابگردان، ۵۰ درصد گوار + ۵۰ درصد آفتابگردان و ۲۵ درصد گوار + ۷۵ درصد آفتابگردان قرار نگرفت (Momen Keykha et al., 2018). برخی محققین دلیل این امر را تغییرات هماهنگ عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در واحد سطح می‌دانند (Rahimi et al., 2002).

عملکرد چغندر علوفه‌ای

اثر الگو و نسبت‌کاشت، بر وزن تر برگ در گیاه چغندر علوفه‌ای معنی‌دار بود (جدول۶) . در بین الگوهای کاشت، الگوی کشت ردیفی بیشترین و الگوی درهم کمترین مقدار وزن تر برگ را داشتند (جدول ۷). در بین نسبت‌های مخلوط نیز، بیشترین مقدار وزن تر برگ در کشت خالص و کمترین آن در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای بود که نسبت به تیمار خالص ۳۶/۸ درصد کاهش یافت. در بررسی اثر متقابل الگو و نسبت‌های کاشت بر وزن تر برگ نیز ملاحظه شد که بیشترین مقدار وزن تر برگ در کشت خالص ردیفی و کمترین مقدار آن در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای در هر دو الگوی کاشت ردیفی و درهم به‌دست آمد. بررسی بیشتر نتایج نشان می‌دهد که احتمالاً تنها دلیل کاهش وزن تر برگ در این نسبت از مخلوط، کاهش تراکم گیاه باشد زیرا ۸۷/۵ درصد کاهش تراکم گیاه در این نسبت، موجب کاهش وزن تر برگ به‌میزان ۵۹/۵ و ۵۵/۵ درصد به‌ترتیب در الگوی کشت ردیفی و درهم نسبت به خالص شده است. نتایج تحقیق چوب فروش و همکاران (Chobforoosh et al., 2019) نیز نشان داد که کاهش ۵۰ درصد تراکم چغندر قند در کشت مخلوط این گیاه با سویا، بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) و ارزن پروسو (*Panicum millaceum* L.) در مقایسه با کشت خالص، تأثیر معنی‌داری بر تعداد برگ این گیاه نداشت و سطح برگ این گیاه را نیز ۱۰ درصد کاهش داد.

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگو و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط پنبه، چغندر علوفه‌ای و افتابگردان بر عملکرد و اجزای عملکرد چغندر علوفه‌ای

Table 6- Analysis of variance for planting pattern and different planting ratios of cotton, sunflower, and fodder beet on yield and yield components of fodder beet

منابع تغییرات S.O.V.	در جه آزادی d.f	عملکرد برگ Leaf yield	عملکرد ریشه Root yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	کارایی مصرف آب WUE
تکرار Replication	2	1.14 ns	2.36 ns	11.8ns	0.438 ns
الگوی کاشت Planting pattern (P)	1	4.16*	138.2**	189.2 **	6.89**
خطای (a) A error	2	0.557	0.585	0.321	0.281
نسبت‌های کاشت Planting ratios (R)	3	95.6**	929.2 **	1586.2 **	23.0**
الگوی کاشت× نسبت‌های کاشت P × R	3	0.674 *	70.0**	75.4**	6.61**
خطای (b) B error	6	0.966	6.59	4.58	0.652

ns، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns, **and*: are non -significant and significant at α=0.05 and α=0.01 respectively.

وزن تر ریشه و عملکرد بیولوژیک چغندر علوفه‌ای تحت تأثیر الگو و نسبت کاشت و همچنین اثرات متقابل این دو معنی‌دار شد (جدول ۷). در مقایسه دو الگوی کاشت بیشترین مقدار وزن تر ریشه و عملکرد بیولوژیک در الگوی کشت ردیفی حاصل شد. در بین نسبت‌های کاشت نیز کشت خالص بیشترین و نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای کمترین وزن تر ریشه و عملکرد بیولوژیک را داشت. بررسی اثرات متقابل الگو و نسبت کاشت نیز نشان داد که بیشترین مقدار وزن تر ریشه و عملکرد بیولوژیک در کشت خالص ردیفی و کمترین مقدار آن در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای و در الگوی کشت ردیفی به‌دست آمد. بررسی بیشتر نتایج نشان می‌دهد که احتمالاً اصلی‌ترین دلیل پایین بودن عملکرد چغندر علوفه‌ای در کشت مخلوط در مقایسه با خالص، کاهش تراکم این گیاه و جایگزینی آن با گونه‌های همراه باشد. زیرا ۸۷/۵ درصد کاهش تراکم گیاه در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان+ ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای نسبت به کشت خالص، عملکرد بیولوژیک این گیاه را به‌ترتیب در الگوی کشت ردیفی و درهم به‌میزان ۵۹ و ۵۸ درصد کاهش داد و کاهش ۶۲ تا ۶۶ درصد تراکم این گیاه در نسبت‌های۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان و ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان، عملکرد را حدود ۳۸ درصد در الگوی کشت ردیفی و ۴۰ درصد در الگوی کشت درهم تحت تأثیر قرار داد که این میزان، از کاهش عملکرد مورد انتظار بسیار کمتر بوده و بنابراین، این مسئله نشان‌دهنده مزیت کشت مخلوط این گیاه نسبت به خالص می‌باشد. به نظر می‌رسد به‌دلیل تیپ رشدی متفاوت چغندر علوفه‌ای و همچنین برداشت دیرتر آن نسبت به گونه‌های همراه در کشت مخلوط، این گیاه توانسته است حداکثر استفاده از منابع محیطی را انجام دهد. بررسی عملکرد ریشه در کشت مخلوط تأخیری چغندر قند با نسبت‌های مختلف گندم نیز نشان داد که در نسبت ۲:۴ گندم- چغندر قند، وزن تر ریشه در گیاه چغندر قند تفاوت معنی‌داری با کشت خالص نداشت (Koocheki et al., 2017). نتایج آزمایش خزاعی (Khazaei., 2014) بر روی کشت مخلوط ذرت و چغندر قند نیز نشان داد که در نسبت ۷۵ درصد چغندر قند + ۲۵ درصد ذرت، عملکرد ریشه با مقدار آن در کشت خالص تفاوت معنی‌داری نداشت.

جدول ۷- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد چغندر علوفه‌ای در کشت مخلوط سه گانه، پنبه، چغندر علوفه‌ای و آفتابگردان

Table 7- Mean comparison of yield and yield components of fodder beet in intercropped cotton, sunflower and fodder beet

	عملکرد برگ Leaf yield (ton.ha^{-1})	عملکرد ریشه Root yield (ton.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (ton.ha^{-1})	کارایی مصرف آب WUE (kg.m^{3})
الگوی کاشت Planting pattern				
کشت ردیفی Row intercropping	12.2^{a}	43.3 ^{a}	55.5^{a}	13.1^{a*}
کشت درهم Mixed intercropping	11.4 ^{a}	38.5^{b}	49.9^{b}	12.0 ^{b}
نسبت‌های کاشت Planting ratios				
Ia	11.4^{b}	36.1^{b}	47.5^{b}	11.9 ^{b}
Ib	7.2^{c}	31.3^{c}	38.5^{c}	15.4 ^{a}
Ic	11.7^{b}	37.0 ^{b}	48.6 ^{b}	12.2^{b}
Is	16.9^{a}	59.2 ^{a}	76.1 ^{a}	10.9 ^{c}
اثرات متقابل Interactions				
کشت ردیفی Row intercropping				
Ia	11.6^{c}	41.2^{b}	52.8^{c}	13.2^{b}
Ib	7.2^{d}	29.0^{c}	36.2^{e}	14.5^{b}
Ic	12.1^{c}	41.7^{b}	53.8^{c}	13.5^{b}
Is	17.8^{a}	61.3^{a}	79.1^{a}	11.3^{c}
کشت درهم Mixed intercropping				
Ia	11.1^{c}	31.0^{c}	42.1^{d}	10.5^{c}
Ib	7.1^{d}	33.7^{c}	40.8^{d}	16.3^{a}
Ic	11.2^{c}	32.3^{c}	43.5^{d}	10.9^{c}
Is	16.0^{b}	57.1^{a}	73.1^{b}	10.5^{c}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مربوط به هر فاکتور آزمایش، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Ia: ۵۰ ٪پنبه، ۳۷/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۱۲/۵ ٪آفتابگردان. Ib: ۵۰ ٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ آفتابگردان ، ۱۲/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای. Ic: ۳۳ ٪ پنبه، ۳۳ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۳۳ ٪ آفتابگردان. Ic: کشت خالص پنبه

* Similar letters in each column and for each experimental factor show non-significant differences according to Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

Ia: 50% cotton, 37.5% fodder beet, and 12.5% sunflower, Ib: 50% cotton, 37.5% sunflower, and 12.5 % fodder beet; Ic: 33% cotton, 33% fodder beet, and 33% sunflower, Is: Pur cotton.

کارایی مصرف آب

نتایج بررسی کارایی مصرف آب در گیاهان مورد استفاده در تحقیق حاضر نشان داد که در هر سه گیاه مورد بررسی، کشت ردیفی در مقایسه با درهم موجب بهبود کارایی مصرف آب در مخلوط شد (جدول ۸)، به‌طوری‌که در کشت ردیفی در مقایسه با درهم، کارایی مصرف آب در گیاه پنبه، آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای به‌ترتیب ۲۷، ۹/۲ و ۸/۴ درصد بیشتر بود. بررسی اثر نسبت‌های مخلوط بر کارایی مصرف آب نشان‌دهنده عکس‌العمل متفاوت گیاهان به شرایط ایجاد شده در مخلوط بود. در پنبه، بیشترین کارایی مصرف آب در کشت خالص مشاهده شد و با کاهش تراکم پنبه در مخلوط، کارایی مصرف آب نیز کاهش یافت (جدول ۸). کمترین کارایی مصرف آب پنبه در نسبت ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای به‌دست آمد که در نسبت به کشت خالص ۵۹/۵ درصد کاهش نشان داد. نسبت‌های ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای و ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان نیز بعد از کشت خالص بیشترین کارایی مصرف آب را داشتند. نتایج حاصل از آزمایش رافعی و همکاران (Rafei et al., 2017) بر روی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط پنبه با گیاه ذرت و لوبیا نشان داد که با کاهش تراکم گیاه پنبه و افزایش تراکم گیاه ذرت و لوبیا در مخلوط، کارایی مصرف آب پنبه

نسبت به کشت خالص کاهش پیدا کرد.

بیشترین کارایی مصرف آب در گیاه آفتابگردان در نسبت‌های ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای و ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای به‌دست آمد (جدول ۸). بررسی بیشتر نتایج همچنین نشان داد، در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان در مقایسه با کشت خالص، کارایی مصرف آب ۱۶ درصد بیشتر بود که این امر نشان‌دهنده مزیت کشت مخلوط آفتابگردان در مقایسه با کشت خالص از نظر کارایی مصرف آب می‌باشد. به عقیده بعضی از محققین (Walker & Ogindo, 2003; Mannion, 1995)در طی دوره‌ها و فصول خشک، متنوع‌ترین بوم‌نظام‌ها، تولید بیشتری در مقایسه با بوم‌نظام‌های با تنوع کمتر دارند. که دلیل این امر می‌تواند کارایی بهتر استفاده از منابع محیطی مانند آب باشد (Hulugulle & Lal, 1986) نتایج آزمایش نجفی و همکاران (Najafi et al. 2015)، بر روی کشت مخلوط ارزن و لوبیا چشم بلبلی نشان داد که کارایی مصرف آب در تیمارهای ۱۰۰ درصد ارزن + ۲۵ و۵۰ درصد لوبیا چشم بلبلی نسبت به کشت خالص آن افزایش یافت. نام‌بردگان دلیل این امر را کاهش رقابت بین گونه‌ای نسبت به رقابت درون گونه‌ای ناشی از تراکم مطلوب به‌علت تسخیر آشیان‌های اکولوژیکی متفاوت توسط دو گونه گیاهی و همچنین همراهی گیاه لوبیا در تثبیت زیستی نیتروژن و در نتیجه، افزایش عملکرد دانه در این نسبت‌ها دانستند. بنابراین سیستم‌های چندکشتی از طریق تأثیر بر عملکرد یا تبخیر و تعرق و یا هر دو بر کارایی مصرف آب اثر می‌گذارند (Soltani & Faraji, 2008).

در گیاه چغندر علوفه‌ای نیز بیشترین کارایی مصرف آب در بین نسبت‌های مورد نظر مربوط به نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای بود (جدول ۸). همچنین کارایی مصرف آب در نسبت‌های ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان و ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای در مقایسه با کشت خالص چغندر علوفه‌ای، بیشتر بود.

جدول ۸- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) گیاهان در کشت مخلوط سه گانه، پنبه، چغندر علوفه‌ای و آفتابگردان (کارآیی مصرف آب چغندر بر اساس وزن تر محاسبه شده است)

Table 8- Mean comparison of water use efficiency ($kg.m^{-3}$) of species in intercropped cotton, sunflower, and fodder beet (for fodder beet, WUE is calculated based on fresh weight)

	پنبه Cotton	آفتابگردان Sunflower	چغندر علوفه‌ای Fodder beet
الگوی کاشت Planting pattern			
کشت ردیفی Row intercropping	0.26 a	0.87a	13.1a
کشت درهم Mixed intercropping	0.19 b	0.79b	12.0 b
نسبت‌های کاشت Planting ratios			
Ia	0.22b	0.81b	11.9 b
Ib	0.21b	0.93a	15.4 a
Ic	0.13c	0.90a	12.2b
Is	0.32a	0.68c	10.9 c

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مربوط به هر فاکتور آزمایش، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Ia: ۵۰ ٪پنبه، ۳۷/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۱۲/۵٪ آفتابگردان. Ib: ۵۰ ٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ آفتابگردان ، ۱۲/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای. Ic: ۳۳ ٪پنبه، ۳۳ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۳۳ ٪ آفتابگردان. Ic: کشت خالص پنبه

* Similar letters in each column and for each experimental factor show non-significant differences according to Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

Ia: 50% cotton, 37.5% fodder beet, and 12.5% sunflower, Ib: 50% cotton, 37.5% sunflower, and 12.5 % fodder beet; Ic: 33% Cotton, 33% fodder beet and 33% sunflower, Is: Pur cotton.

به نظر می‌رسد، به‌دلیل برداشت دیرتر چغندر علوفه‌ای نسبت به پنبه و آفتابگردان، امکان استفاده این گیاه از بارندگی‌های پاییزه در مراحل انتهایی رشد بیشتر بوده و همچنین به‌دلیل وجود بقایای گیاهان مورد استفاده، میزان تبخیر و تعرق در تیمارهای کشت مخلوط چغندر علوفه‌ای در مقایسه با خالص کاهش یافته است که این مسئله موجب افزایش کارایی مصرف آب در تیمارهای مخلوط نسبت به خالص شده است. نتایج تحقیق روی و همکاران (Roy et a., 2015)نیز نشان داد که کارایی مصرف آب ذرت در کشت مخلوط با ماش، در نسبت ۲:۳ ذرت: ماش نسبت به کشت خالص بیشتر بود.

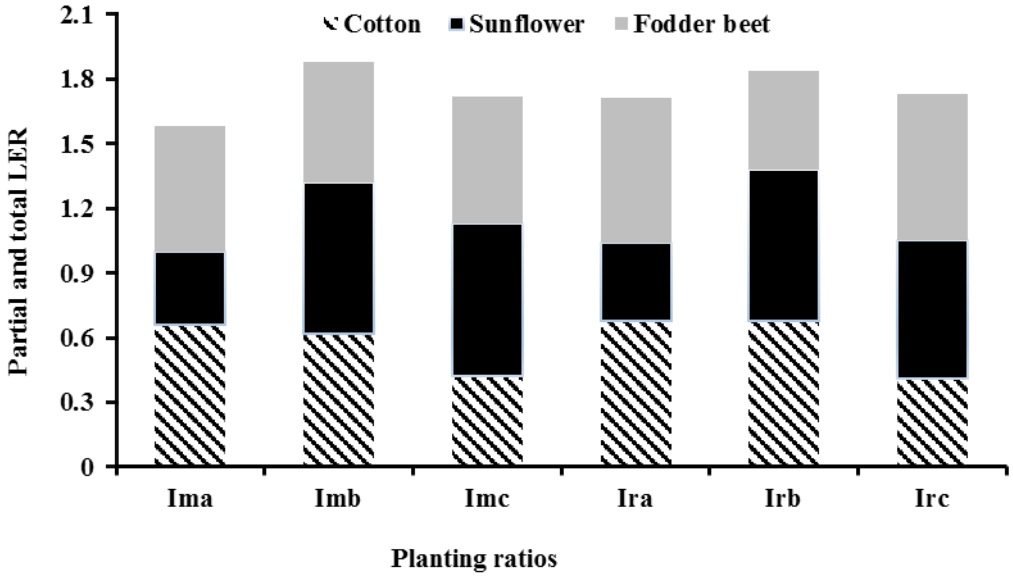
نسبت برابری زمین

بررسی نسبت برابری زمین در کشت مخلوط پنبه، چغندر علوفه‌ای و آفتابگردان نشان داد که در تمامی نسبت‌های مخلوط مقدار LER کل بیشتر از یک بوده که این مسئله نشان‌دهنده برتری کشت‌های مخلوط از نظر کارایی استفاده از زمین، نسبت به کشت خالص می‌باشد (شکل ۱). بیشترین نسبت برابری زمین در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای در هر دو الگوی کشت درهم و ردیفی بود که این مسئله به‌دلیل بالا بودن LER جزئی گیاه آفتابگردان و پنبه در این نسبت از کشت مخلوط بود. کمترین مقدار نسبت برابری زمین نیز در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان و در الگوی کشت درهم مشاهده شد. به نظر می‌رسد، به‌دلیل کاهش عملکرد آفتابگردان در این نسبت از کشت مخلوط، LER جزئی این گیاه نیز به‌طور چشمگیری کاهش یافته که در نهایت، موجب کاهش LER کل شده است. در بررسی LER جزئی نیز، گیاه پنبه در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان در هر دو الگوی کشت درهم و ردیفی و در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای در الگوی کشت ردیفی بیشترین و در نسبت ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان در هر دو الگوی کشت درهم و ردیفی کمترین LER جزئی را داشت. طی آزمایش مشابهی دادمند و همکاران (Dadmand et al., 2019) به بررسی اثرات کشت مخلوط پنبه و ذرت پرداختند. نتایج آن‌ها نیز نشان داد که در تمامی نسبت‌های مخلوط، LER کل بیشتر از یک بوده که این مسئله نشان‌دهنده مزیت کشت مخلوط نسبت به خالص می‌باشد. در بین نسبت‌های مورد استفاده در تحقیق نام‌برده، بیشترین LER کل با مقدار ۱/۲۷ مربوط به نسبت دو ردیف پنبه + یک ردیف ذرت و کمترین آن در نسبت یک ردیف پنبه + یک ردیف ذرت مشاهده شد. بررسی نسبت برابری زمین در کشت مخلوط آفتابگردان با ذرت و سویا نیز نشان داد که در کشت‌های مخلوط افزایشی آفتابگردان - سویا و آفتابگردان- سویا- ذرت مقدار LER کل از یک بیشتر بود که این امر نشان‌دهنده استفاده بیشتر منابع از واحد سطح زمین در کشت مخلوط می‌باشد. به‌طور کلی، کشت مخلوط با ایجاد تعادل اکولوژیک به‌دلیل پوشش مناسب‌تر زمین در مقایسه با کشت خالص، موجب بهبود کارایی مصرف منابع، کنترل علف‌های هرز، حفظ بهتر رطوبت و کاهش دمای کانوپی و دمای سطح خاک شده و همچنین از بروز تنش‌های محیطی جلوگیری می‌کند و در نهایت، از طریق تأثیر مثبت بر رشد و عملکرد، بهبود نسبت برابری زمین را به دنبال دارد (Nakhzari Moghaddam et al., 2016). همچنین به‌دلیل تفاوت‌های زمانی و مکانی در صفات رشدی و گونه‌های مختلف زراعی، گیاهان در نظام‌های زراعی چندکشتی علاوه‌بر جذب بهتر و کاراتر عناصر غذایی از خاک (Zhang et al., 2003) قادر به بهره‌وری بهتر از سایر منابع مانند آب و نور می‌باشند که همین مسئله موجب افزایش عملکرد در بعضی گیاهان و در شرایط مختلف کشت مخلوط می‌شود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج تحقیق نشان داد که روش و نسبت‌های مختلف کاشت، عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان مورد بررسی را تحت تأثیر قرار داد. در بین دو الگوی کشت مورد استفاده در تحقیق حاضر نیز، کشت ردیفی نسبت به درهم از نتایج بهتری برخوردار بود. بررسی نسبت برابری زمین در کشت مخلوط پنبه، چغندر علوفه‌ای و آفتابگردان نشان داد که در تمامی نسبت‌های مخلوط مقدار LER کل بیشتر از یک بوده که این مسئله نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط از نظر کارایی استفاده از زمین، نسبت به کشت خالص می‌باشد. بررسی روند عملکرد گیاهان مورد استفاده در نسبت‌های مخلوط نیز به‌خوبی مؤید این مسئله می‌باشد، به‌طوری‌که در گیاه پنبه و در نسبت‌های ۵۰ و ۳۳ درصد (۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد

چغندر علوفه‌ای، ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان، ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان)، که تراکم این گیاه نسبت به خالص به‌ترتیب ۵۰ و ۶۶ درصد کاهش می‌یابد، عملکرد اقتصادی تنها ۳۳ و ۵۸ درصد کاهش یافته است. همچنین در گیاه آفتابگردان و در نسبت‌های ۳۷/۵ و ۳۳/۵ درصد، با کاهش تراکم این گیاه به ۶۲/۵ و ۶۶ درصد، عملکرد آن به‌ترتیب ۳۰ و ۳۲/۵ درصد کاهش یافته و در نسبت ۱۲/۵ درصد آفتابگردان که تراکم گیاه ۸۷/۵ درصد کاهش یافته، عملکرد ۶۵ درصد کمتر از کشت خالص بود. کاهش تراکم چغندر علوفه‌ای به‌میزان ۸۷/۵ درصد در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان در مقایسه با کشت خالص نیز، موجب کاهش عملکرد بیولوژیک این گیاه به‌میزان ۶۷ درصد شد.



شکل ۱- نسبت برابری زمین جزئی و کل در ترکیب‌های کشت مخلوط پنبه، آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای

Ima: ۵۰ ٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۱۲/۵ ٪ آفتابگردان. Imb: ۵۰ ٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ آفتابگردان ، ۱۲/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای. Imc: ۳۳ ٪پنبه، ۳۳ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۳۳ ٪ آفتابگردان (کشت درهم)

Ira: ۵۰ ٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۱۲/۵ ٪ آفتابگردان. Irb: ۵۰ ٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ آفتابگردان ، ۱۲/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای. Irc: ۳۳ ٪پنبه، ۳۳ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۳۳ ٪ آفتابگردان (کشت ردیفی)

Fig. 1- Partial and total land equivalent ratio for different arrangements of intercropped Cotton with Sunflower and Fodder beet

Ima: 50% cotton, 37.5% fodder beet, 12.5% sunflower, Imb: 50% cotton, 37.5% sunflower, 12.5 % fodder beet, Imc: 33% cotton, 33% fodder beet, 33% sunflower (Mix intercropping).

Ira: 50% cotton, 37.5% fodder beet,12.5% sunflower, Irb: 50% cotton, 37.5% sunflower, 12.5 % fodder beet, Irc: 33% cotton, 33% fodder beet, 33% sunflower (Row intercropping).

در نسبت‌های مخلوط ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان و ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای نیز عملکرد بیولوژیک این گیاه، در مقایسه با خالص فقط ۳۸ درصد کاهش یافت که این مسئله نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در مقایسه با خالص می‌باشد. بررسی کارایی مصرف آب نیز نشان داد که اگرچه گیاه پنبه در تمامی نسبت‌های مخلوط در مقایسه با خالص از کارایی مصرف آب کمتری برخوردار بود، امّا در گیاه آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای کارایی مصرف آب در نسبت‌های مخلوط نسبت به خالص افزایش یافت. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان‌دهنده استفاده بیشتر گیاهان از منابع موجود در

کشت مخلوط در مقایسه با خالص می‌باشد و به‌دلیل متفاوت بودن مورفولوژی، فنولوژی و تیپ رشدی گیاهان مورد استفاده در کشت مخلوط حاضر، به نظر می‌رسد کشت مخلوط پنبه- آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای تا حدودی موجب افزایش کارایی استفاده از منابع به‌ویژه آب گردیده است.

سپاسگزاری

بودجه این طرح (به‌شماره:۴۷۲۹۱)، از محل اعتبار پژوهه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Aminifar, J., Ramroudi, M., Galavi, M., & Mohsenabadi, G.R. (2016). Assessment of cotton (*Gossypium* spp.) productivity in rotation with intercropping of sesame (*Sesamum indicum* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, *18*(2), 120-134. (In Persian with English Summary)
2. Barzali, M. (2012). Effects of intercropped cotton (*Gossypium* spp.) with sorghum (*Sorghum*), soybean (*Glycine max*), and sesame (*Sesamum indicum*) on yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) growth and cotton yield. 5th Iranian Weed Science Congress. 11-12 August 2012, p. 542-546. (In Persian with English Summary)
3. Bismillah Khan, M., Akhtar, M., & Abdul khaliqh, M. (2001). Effect of planting patterns and different intercropping systems on the productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under irrigated conditions of Faisalabad. *International Journal of Agriculture & Biology*, *4*, 432–435.
4. Chao Dai, C., Chen, Y., Xing-Xiang, W., & Pei-Dong, L. (2012). Effects of intercropping of peanut (*Arachis hypogaea*) with the medicinal plant *Atractylodes lancea* on soil microecology and peanut yield in subtropical China. Agroforestry System. *Springer Science and Business Media*, *87*, 417-426. https://doi.org/10.1007/s10457-012-9563-z.
5. Chobforoosh khoee, B., Amini, R., Dabbagh Mohammadi nasab, A., & Raie, Y. (2019). Effect of soybean, badershbo, and millet intercropping on growth traits and yield of sugar beet. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, *30*(2), 42-58. (In Persian with English Summary)
6. Dadmand, M., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Ramezani Moghaddam, M.R. (2019). Evaluation the productivity of input in intercropping of cotton and maize. Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
7. Dehghani, M., Aghaee, M.J, & Mohammadi kia, S. (2015). Effect of transplanting on yield and water use efficiency of cotton. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture*, *28*(2), 307-314. (In Persian). https://doi.org/10.22092/jwra.2014.100032.
8. Ghaderi, G.R., Gazanchian, A., & Yousefi, M. (2008). The forage production comparison of alfalfa and wheatgrass as affected by seeding rate on mixed and pure cropping. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, *15*(2), 256-268. (In Persian with English Summary)
9. Gholipour, M., & Sharifi, P. (2016). Yield and productivity indices of common bean and sunflower intercropping in different planting ratios. *Crop Physiology Journal*, *10*(33), 129-137.
10. Hasan Zade Aval, F., Koochaki, A., Khazaei, H., & Nassiri Mahallati, M. (2011). Effect of density on agronomic characteristics and yield of savory and Iranian clover in intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research* *8*(6), 920-929. (In Persian). https://doi.org/10.22067/GSC.V8I6.8038.
11. Hulugulle, N., & Lal, R. (1986). Soil water balance of intercropped maize and cowpea grown in tropical hydromorphic soil western Nigeria. *Agronomy Journal* *75*, 86-90. https://doi.org/10.2134/agronj1986.00021962007800010019x.
12. Iqbal, J., & Cheema, Z.A. (2007). Effect of allelopathic crops water extracts on glyphosate dose for weed control in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Allelopathy Journal 19*, 403–410.
13. Jahani, M., Kochaki, A., & Nassiri Mohallati, M. (2008). Evaluation of different intercropping arrangements of cumin (*Cuminum cyminum*) and lentils (*Lens culinaris*) in low-input agricultural systems. *Iranian Journal of Crop Research*, *6* (1), 67-78. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/GSC.V6.I1.1177.
14. Kandhro, M.N., Tunio, S.D., Memon, H.R., & Ansari, M.A. (2007). Growth and yield of sunflower under influence of mungbean intercropping. *Pakistan Journal. Agricultural Research*, *23*, 9-13.

15. Karimzade Asl, K., Mazaheri, D., & Peighambari, S.A. (2003). Effect of four irrigation intervals on the seed yield and quantitive characteristics of three sunflower cultivars. *Iranian Journal of Agriculture Science, 34* (2), 293-301. (In Persian with English Summary)
16. Keating, B.A., & Carberry, P.S. (1993). Resource capture and use in intercropping: Solar radiation. *Field Crops Research 34*, 273–301.https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90118-7.
17. Khaki Najafabadi, A., Jahan, M., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2016). Effects of intercropping of common millet (*Panicum miliaceum* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* L.), and biological fertilizer inoculation on water and nitrogen use efficiencies. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(3), 691-708. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/GSC.V1513.52944.
18. Khazaei, M. (2014). Investigation of intercropping of corn and sugar beet. *Journal of Crops Improvement*, *16*(4), 987-997. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/jci.2015.53593.
19. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Hooshmand, M., & Khorramdel, S. (2020). Effect of different arrangements of intercropping for sunflower (*Helianthus annus* L.), common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), and pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) on yield and yield components. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *18*(3), 251-266. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/GSC.V18I3.76748.
20. Koocheki, A., Fallahpoor, F., & Amin Ghafori, A. (2013). Determining the best width of strip in row intercropping of sesame and linen and its effect on yield, yield components, and weed density. *Journal of Agroecology*, *11*(4), 1483-1496. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/JAG.V11I4.29585.
21. Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Zarghani, H., & Norooziyan, A. (2017). Evaluation of yield and radiation use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in relay intercropping. *Iranian Journal of Crops Research*, *14*(4), 539-557. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/GSC.V14I4.51159.
22. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., & Alizade, Y. (2016). Effect of different levels of nitrogen on yield and nitrogen use efficiency in intercropping of corn and cotton. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *13*(1), 1-13. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/GSC.V13I1.48310.
23. Koocheki, A., Zarghani, H., & Norooziyan, A. (2016). Comparison of yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.), and red bean (*Phaseolus calcaratus*) under different intercropping arrangements. *Iranian Journal of Field Crops Research 14*(2), 226-243. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/GSC.V14I2.51158.
24. Mannion, A.M. (1995). Biodiversity, biotechnology, and business. *Environmental Conservation*, *22*, 201-210.
25. Mead, R., & Willey, R.W. (1980). The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields for intercropping. *Experimental Agriculture*, *16*, 217–228. https://doi.org/10.1017/S0376892900010596
26. Ministry of Agriculture Jihad. Available at Web site www.maj.ir/portal/Home/Default.aspx, (verifieded 2020/01/05).
27. 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. *Agroecology*, *9*(4), 1050-1069. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/JAG.V9I4.51084.
28. Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, G.R., & Samiezadeh, H.A. (2015). The role of triple cultures in weed control and yield of pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* L.). *Knowledge of Sustainable Agricultural Production*, *24*(4), 17-31. (In Persian with English Summary)
29. Morales, R.E.J., Escalante, E.J.A., Sosa, C.L., & Volke, H.V.H. (2009). Biomass, yield, and land equivalent ratio of *Helianthus annus* L. in sole crop and intercropped with Phaseolus vulgaris L. in high valleys of Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *10*, 431-439.
30. Mosavian, N., & Seyed Mohamadi, A. (2015). Effect of nitrogen and cultivation patterns on morphological traits and growth indices in mixed cultivation of maize and sunflower. *Crop Physiology Journal*, *7*(26), 105-119. (In Persian with English Summary)
31. Najafi, N., Mostafaii, M., Ousting, S., & Dabagh-e- Mohammadi Nasb, A. (2015). Effect of manure application and intercropping of corn, bean, and bitter vetch on macronutrient content in maize shoot. 12th Iranian Crop Sciences Congress. Karaj Brach, Islamic Azad University, Karaj, Iran. (In Persian with English Summary)
32. Nakhzari Moghaddam, A., Dehghanpoor Incheboroon, O., & Rahemi Karizaki, A. (2016). The effect of nitrogen

levels and different ratios of replacement intercropping series on forage yield and competition indices of barley and green pea. *Electronical Journal of Crop Production, 1*, 199-214. (In Persian with English Summary)

33. Nasrollah zadehAsl, A., & Talebi, M. (2017). Evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and maize (*Zea mays* L.) cultivars by replacement method in khoy area. *Plant Ecophysiology, 8*(27), 204-215. (In Persian with English Summary)
34. Nielsen, H.H., Ambus, P., & Jensen, E.S. (2001). Interspecific competition N use and interference with weeds in pea-barly intercropping. *Field Crops Research, 70*(2), 101-109. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00126-5.
35. Nurbakhsh, F., Koocheki, A. & Nassiri Mahallati, M. (2015). Evaluation of yield, yield components, and different intercropping indices in mixed and row intercropping of sesame (*Sesamum indicum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Research, 6*(2):73-86. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/IJPR.V.1394I2.30942.
36. Olowea, V.I.O., & Adebimpeb, O.A. (2009). Intercropping sunflower with soybeans enhances total crop productivity. *Biology. Agriculture. Horticulture*, 26, 365-377. https://doi.org/10.1080/014486.765.2009.9755095.
37. Poveda, K., & Kessler, A. (2012). New Synthesis: Plant volatiles as functional cues in intercropping systems. *Journal of Chemical Ecology. Springer Science and Business Media New York, 38*, 13-41. https://doi.org/10.1007/S10886-12-0203-x.
38. Raei, Y., Ghasemi, K., Javanshir, A., Alyari, H., Mohammadi, S.A., & Nasrolah zade, S. (2007). Assessment of soybean (*Glycine max*) and sorghum (*Sorghum bicolor*) intercropping by using reciprocal model of yield. *Iranian Journal of Crop Science, 8*(1), 1-13.
39. Rafei, A., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Naseri, M.T. (2017). Evaluation of nitrogen water and radiation use efficiency and productivity in maize-bean -cotton row intercropping. Ph.D. Dissertation. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
40. Rahimi, M.M., Mazaheri, D., Khodabandeh, N., & Heydari SHarifabady, K.H. (2002). Effects of intercropping maize (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max*) on yield and yield components. *Journal of Pajouhesh and Sazandegi, 51*, 45-55. (In Persian with English Summary)
41. Ritchie, J.T., & Basso, B. (2007). Water use efficiency is not constant when crop water supply is adequate or fixed: the role of agronomic management—*European Journal of Agronomy*, *28*(3): 273-281.https://doi.10.1016/j.eja.2007.08.003.
42. Roy, S.M., Barman, A.M., Puste, S.K., Gunri, M., & Jana, K. (2015). Growth, yield, water use efficiency, and competitive functions of intercropping system of maize (*Zea mays* L.) and mung bean (*Vigna radiata* L.) as influenced by irrigation. SAARC. *Journal of Agriculture, 13*(2), 94-107. https://doi.10.3329/sja.v13i2.26571.
43. Singh, JK. (2007). Response of sunflower (*Helianthus annuus*) and French bean (*Phaseolus vulgaris*)Intercropping to different row ratios and nitrogen levels under rainfed conditions of temperate Kashmir. *Indian Journal of Agronomy*, *52*, 36-39. https://doi.10.59797/ija.v52i1.4885.
44. Soltani, A., & Faraji, A. (2008). The relationship between water, soil and plants. Jahad Daneshgahi of Mashhad, Iran. Pp, 189-201.
45. Tavassoly, A., Ghanbari, A., & Amiri, A. (2010). Calculation of water use efficiency on sole cropping and intercropping systems of millet and pea in Sistan area. 1st Iranian Conference of Sustainable Agriculture and Healthy Crop Production. Isfahan Agriculture and Natural Resources Research Center, Isfahan, Iran.
46. Tsubo, M., Walker, S., & Mukhala, E. (2005). Comparisons of radiation use efficiency of mono intercropping systems with different row orientations. *Field Crops Research, 70*, 17-29. https://doi.10.1016/s0378-4290(01)001432-3.
47. Vaziri, E., Dahmardeh, E., & Khammari, M. (2017). The effect of planting directions (North-South, East-West) on the ecophysiological characteristics of sunflower (*Helianthus annus* L.) in intercropping with local beans (*Phaseolus vulgaris* L.). M.Sc. Dissertation, Faculty of Agriculture, University of Zabol Graduate School, Iran. (In Persian with English Summary)
48. Walker, S., & Ogindo, H.O. (2003). The water budget of rainfed maize and bean intercrop. *Physics and Chemistry of the Earth, 28*, 919–926. https://doi.org/10.1016/j.pce.2003.08.018.
49. Xin, N.Q., & Tong, P.Y. (1986). Multiple cropping systems and its development orientation in China (a review). *Science Agriculture Sinica, 4*, 88–92

50. YiKai, Z., FanJun, C., Long, L., YanHua, C., BingRan, C., YuLing, Z., LiXing, Y., FuSuo, Z., & GuoHua, M. (2012). The role of maize root size in phosphorus uptake and productivity of maize/faba bean and maize/wheat intercropping systems. *Science China. Life Sciences*, *55*(11), 993–1001. https://doi.org/10.1007/s11427-012-4396-6.
51. Zaefarian, F., & Bagheri Shirvan, M. (2014). Effect of intercropping different ratios on yield of soybean, sweet basil, and borage. *Journal of Crops Improvement, 16*(1), 197-214. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/jci.2014.51952
52. Zhang, F., & Li, L. (2003). Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient use efficiency. *Plant and Soil, 248*, 305-312. https://doi.org/10.1023/A:1022352229863.
53. Zhang, F., & Li, L. (2007). Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant Soil, 248*, 305-312.
54. Zhang, L., van der Werf, W., Zhang, S., Li, B., & Spiertz, J. H. J. (2007). Growth, yield, and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. *Field Crops Research, 103*(3), 178–188. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.06.002.

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

Research Article
Vol. 15, No. 4, 2024, p. 665-681

Effect of Foliar Application of Urea, Proline, and Ascorbic Acid on Some Physiological Characteristics and Yield of Forage of Yellow Sweet Clover (*Melilotus officinalis* L.) under Salinity

Sajjad Rahimi[1], Alireza Pirzad[2*] and Jalal Jalilian[3]

1, 2, and 3- Ph.D. Student, Professor, and Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia- Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: a.pirzad@urmia.ac.ir)

Received: 16-11-2021
Revised: 30-04-2022
Accepted: 07-05-2022
Available Online: 25-01-2021

How to cite this article:
Rahimi, S., Pirzad, A., & Jalilian, J. (2024). Effect of foliar application of urea, proline, and ascorbic acid on some physiological characteristics and yield of forage of yellow sweet clover (*Melilotus officinalis* L.) under salinity. *Journal of Agroecology*, *15*(4), 665-681. (in Persian with English abstract).
https:// doi.org/10.22067/agry.2022.73662.1079

Introduction

Salinity, as one of the worldwide limiting factors, can restrict crop quality as well as world food products, particularly in arid and semi-arid regions. Yellow sweet clover (*Melilotus officinalis* L., Fabaceae family), an herbaceous plant with both medicinal and domestic utilizes that the most salt-tolerant legumes can improve sustainable agriculture in saline soils. In order to minimize the harmful effects of salinity, various strategies, including cost-effective and efficient use of foliar spraying, are adopted to increase plant tolerance by mainly alleviating Na and Cl injuries to the plants. Ascorbic acid (AA), a natural water-soluble antioxidant, and proline, a beneficial solute amino acid, protect the plants as an anti-oxidative defense molecule during various stresses. Foliar urea application directly affects nitrogen metabolism in saline soils and, consequently, amino acid synthesis.

Materials and Methods

Two years (2017-2018) of field experiments were performed in a research field at Urmia University. For each year, the experiment was arranged in a split-plot design based on a randomized complete block design with three replications. The main factor was soil salinity (0.9 dS/m – as none-saline and 6.7 dS/m – as saline soil), and also the sub-factor was foliar application including proline (20 mM, 2.3 g/L), ascorbic acid (5 Mm, 0.9 g/L), urea (46% N, 10 g/L) and control (water spraying). plant biomass (oven-dried at 80 $^{\circ}$C for 48 h) and seed yield (with 15% moisture content) were measured from harvested plants from 1 m^2 of each experimental plot. The chemical composition of samples was obtained based on the standard procedures (The quantities of Photosynthetic pigments and osmolytes) and forage qualities. Comparison of means was performed by Duncan's multiple range test (DMRT) at 5% and 1% probability levels by using SAS and MSTAT-C statistical software.

Results and Discussion

The analysis of variance showed that the interaction between salinity and foliar application on biomass, grain

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https:// doi.org/10.22067/agry.2022.73662.1079

yield, chlorophyll a, carotenoids, proline, soluble sugars, and all the characteristics related to forage quality were significant. Also, the effect of salinity on chlorophyll b and glycine betaine and the effect of foliar application on chlorophyll b were significant. The salinity increased the amount of acid-soluble fiber, water-soluble fiber, and total ash, but the amount of crude protein, digestible dry matter, water-soluble carbohydrates, and crude fiber were higher in non-saline conditions. In the non-saline condition, the use of ascorbic acid increased the amount of crude protein by 6.8% compared to the control, but in saline conditions, no significant effect was observed. Under saline conditions, foliar application of urea had the greatest effect on acid-soluble fiber and water-soluble fiber, so in these conditions, urea-sprayed plants had 0.5, 7.86 and 1.69% more acid-soluble fiber than control plants and plants treated with proline and ascorbic acid, respectively. Also, in saline conditions, the amount of water-soluble fiber in urea spraying was 0.46%, 3.32% and 6.31% higher than control, proline, and ascorbic acid treatments, respectively. Proline improved biological yield and grain yield by reducing the adverse effects of salinity, while foliar application of plants with ascorbic acid did not show an additive effect on yield. Osmotic regulators can act as mechanisms to maintain cellular water potential in plants under salinity stress.

Conclusion

In general, biomass yield and grain yield were lower in saline conditions than in non-saline conditions. In both conditions, urea foliar application had the greatest effect on yellow sweet clover yield and increased its amount compared to control and other treatments. In general, yield reduction under salinity conditions may be due to inhibition of photosynthesis, which causes the plant to absorb fewer nutrients. Our data show that foliar application of urea in saline conditions counteracts the harmful effects of salinity on plant yield. Based on the results, the amount of NDF and ADF increased in saline conditions compared to non-saline conditions. The highest amount of acid-soluble fiber and water-soluble fiber was obtained in salinity conditions and by spraying yellow sweet clover with urea.

Acknowledgments

The authors of the article thank Mr. Vakili, Crop Physiology Laboratory, Department of Plant Production and Genetics, Urmia University, for his help in conducting the experiments of this research.

Keywords: Forage quality, Osmolyte, Photosynthetic pigments, Stress

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ٦٨١-٦٦٥

اثر محلول‌پاشی اوره، پرولین و اسید آسکوربیک روی خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد علوفه یونجه زرد (*Melilotus officinalis* L.) تحت شوری

سجاد رحیمی[۱]، علیرضا پیرزاد[۲*] و جلال جلیلیان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی اسمولیت‌ها (پرولین و اسید آسکوربیک) و اوره بر عملکرد، رنگیزه‌های فتوسنتزی، تجمع اسمولیت‌ها و کیفیت علوفه یونجه‌زرد (شبدر شیرین) (*Melilotus officinalis* L.)، در شرایط شور و غیرشور، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه اجرا گردید. فاکتور اصلی شامل خاک شور و غیرشور و فاکتور فرعی شامل محلول‌پاشی با اسمولیت‌ها، اوره و شاهد (اسپری آب) بود. در این تحقیق، خاک شور (۶/۷ $dS.m^{-1}$) و خاک غیرشور (۰/۹ $dS.m^{-1}$) به‌عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی اسمولیت‌ها (پرولین (۲۰ میلی‌مولار) و اسید آسکوربیک (پنج میلی‌مولار)) و اوره (۴۶ درصد نیتروژن: ۱۰ گرم در لیتر) و شاهد (اسپری آب) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. در شرایط شور، عمکرد زیست‌توده (بخش رویشی گیاه) و عملکرد دانه نسبت به شرایط غیرشور کاهش یافت و از طرفی، در هر دو شرایط، محلول‌پاشی اوره میزان عملکرد را افزایش داد. واکنش اجزای کیفیت علوفه به شوری متفاوت بود؛ شوری میزان فیبر محلول در اسید، فیبر محلول در آب و خاکستر کل را نسبت به شرایط غیرشور افزایش داد، امّا میزان پروتئین‌خام، ماده خشک قابل هضم، کربوهیدرات‌های محلول در آب و الیاف خام در شرایط غیرشور بیشتر بود. در شرایط شور، اوره بیشترین تأثیر را بر فیبر محلول در اسید و فیبر محلول در آب داشت. به‌طور کلی، عملکرد در شرایط شور کمتر از شرایط غیرشور بود و در هر دو شرایط، اوره بیشترین تأثیر را بر عملکرد داشت، از طرفی، اثر محلول‌پاشی بر کیفیت علوفه متفاوت بود، به‌طوری‌که کیفیت برخی اجزا را کاهش و برخی دیگر را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: اسمولیت، تنش، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کیفیت علوفه

مقدمه

گیاه شبدر شیرین یا یونجه زرد (*Melilotus officinalis* L.) متعلق به خانواده بقولات (Fabaceae) می‌باشد. این گیاه مقاوم به خشکی، سرما و دمای بالاست که موجب سازگاری آن به طیف وسیعی از خاک‌ها گشته است (Meyer, 2005). این گیاه دربردارنده ترکیبات شیمیایی کومارین، آلکالوئید، ترپنوئید، گلیکوزید، فنل، فلاونورید و اسیدهای چرب است که در ریشه، ساقه و سرشاخه گلدار گیاه یافت می‌شود (Stefanovic et al., 2015). در اروپا علاوه‌بر استفاده‌های دارویی، از یونجه زرد به‌عنوان مقوی، مسکن، ضدالتهاب و ضدعفونی‌کننده قوی در التیام زخم‌های سوختگی و زخم‌های دیابتی استفاده می‌شود (Chorepsima et al., 2013).

شوری یکی از عوامل محدودکننده تولید محصول در سراسر جهان است که می‌تواند کیفیت محصول را به اندازه کمیت، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، محدود کند (Kammann et al., 2011). وقتی گیاهان تحت شرایط شوری رشد می‌کنند، جنبه‌های مختلف فیزیولوژیکی گیاه تحت تأثیر منفی قرار می‌گیرد (Puyang

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: a.pirzad@urmia.ac.ir)
https:// doi.org/10.22067/agry.2022.73662.1079

et al., 2015. این اثرات مضر ناشی از پتانسیل اسمزی پایین محلول خاک به‌عنوان تنش آب، اثرات یونی خاص مانند تنش نمک (سدیم و بور)، عدم تعادل تغذیه‌ای، یا ترکیبی از این عوامل است (Acosta-Motos et al., 2017; Isayenkov & Maathuis, 2019). تنش شوری باعث پیری زودرس برگ‌ها، شکسته شدن کلروپلاست و کاهش میزان کلروفیل می‌شود. از طرفی، کاهش کلروفیل نیز منجر به کاهش فتوسنتز می‌شود و گیاهانی که در زمان تنش میزان کلروفیل بیشتری را حفظ کنند، کارایی فتوسنتز بیشتری دارند و در برابر تنش مقاوم هستند (Sharma & Dubey, 2005).

گونه‌های *Melilotus*، به‌عنوان لگوم‌های مقاوم در برابر شوری، می‌توانند کشاورزی پایدار را در خاک‌های شور بهبود بخشند. در برخی کشورها از جمله کانادا، آرژانتین، اسپانیا و روسیه، گونه‌های *Melilotus* در مناطق کمی شور رشد می‌کنند، جایی که کشت لگوم های علوفه‌ای مشکل است (Rogers et al., 2008).

در تحمل به نمک ترکیبات متعددی از قبیل قندها، اسیدهای آلی و ترکیبات حاوی نیتروژن مانند آمینواسیدها، آمیدها، ایمیدها و پروتئین‌ها به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی وارد عمل می‌شوند. این ترکیبات به حفظ تورژسانس و نگهداری حجم سلول کمک نموده و آثار تنش را کاهش می‌دهند (Ashraf & Harris, 2004). به‌منظور به حداقل رساندن اثرات مضر شوری، استراتژی‌های مختلفی از جمله اعمال مقرون به صرفه و مؤثر محلول‌پاشی برای افزایش تحمل گیاه از طریق کاهش عمده صدمات سدیم و کلرید مورد استفاده قرار می‌گیرد (Valizadeh-Kamran et al., 2019).

ویتامین C یا اسید آسکوربیک، یک آنتی‌اکسیدانت محلول در آب طبیعی با چندین عملکرد متابولیک حیاتی است که به‌عنوان یک بستر برای محافظت از آسیب چندین گونه اکسیژن فعال ناشی از تنش شوری عمل می‌کند (Sajid & Aftab, 2016). محلول‌پاشی برگ با استفاده از اسید آسکوربیک می‌تواند باعث افزایش غلظت درونی این آنتی‌اکسیدانت شود (Bastam et al., 2013). در پژوهشی، استفاده از اسید آسکوربیک (چهار میلی‌مولار) در شرایط شوری بالا (40 mM) میزان کلروفیل a را در گیاهان لوبیا چشم بلبلی افزایش داد؛ با این حال، محتوای کلروفیل b و مجموع کلروفیل a و b تحت تأثیر استعمال خارجی اسید آسکوربیک قرار نگرفت (Beltagi, 2008).

پرولین، یک آمینو اسید محلول مفید می‌باشد که به‌عنوان یک مولکول دفاعی ضداکسیداتیو از گیاهان در هنگام تنش‌های مختلف محافظت می‌کند (Hayat et al., 2012). تحت تنش شوری، پرولین ویژگی‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و آناتومیکی مرتبط با رشد گیاهان را افزایش داده وسیستم دفاع آنتی اکسیدانتی گیاهان را بهبود می‌بخشد (Dawood et al., 2014). با در نظر گرفتن تنظیم اسمزی به‌عنوان مهم‌ترین مکانیسم، محلول‌پاشی اسمولیت‌های سازگار مانند پرولین می‌تواند به‌عنوان روشی کارآمد برای کاهش آسیب‌های ناشی از تنش شوری عمل کند (Wani et al., 2016).

از ویژگی‌های منحصر به فرد اوره که باعث می‌شود از آن به عنوان منبع کود نیتروژن استفاده شود، می‌توان به جذب سریع توسط برگ‌ها و انتقال به اندام‌های جوان، سمیت کم و حلالیت زیاد در خاک و آب، اشاره کرد (Ruan & Gerendás, 2015). کاربرد اوره به صورت محلول‌پاشی که از طریق کوتیکول منتقل می‌شود، یک استراتژی جایگزین برای کاهش خطر کوددهی بیش از حد نیتروژن می‌باشد و مستقیماً بر متابولیسم نیتروژن در خاک‌های شور و در نتیجه، سنتز اسیدهای آمینه تأثیر می‌گذارد (Cheng et al., 2002).

اثر منفی شوری روی گیاه را می‌توان با تغییر واکنش‌های بیوشیمیایی مربوط به عملکرد محصول از طریق اصلاحات مؤثر مانند کودها و مواد فیتوشیمیایی، کاهش داد، از این رو مطالعه حاضر به منظور ارزیابی صفات کمّی و کیفی گیاه یونجه زرد با استفاده از محلول‌پاشی اسید آسکوربیک، پرولین و اوره در شرایط غیرشور و شور انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه (با مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و ۴۴ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی با ۱۳۳۸ متر ارتفاع از سطح دریا) اجرا شد. عامل‌ها شامل شوری خاک (با سطوح ۰/۹ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان خاک غیرشور و ۶/۷ دسی-زیمنس بر متر به‌عنوان خاک شور؛ پس از آزمایش چند خاک، یکی از زمین‌ها که به‌طور طبیعی این سطح شوری را داشت انتخاب شد) به عنوان کرت‌های اصلی و عامل محلول‌پاشی شامل پرولین (۲۰ میلی-مولار- ۲/۳ گرم در لیتر)، اسید آسکوربیک (پنج میلی‌مولار- ۰/۹ گرم در لیتر)، اوره (۴۶ درصد نیتروژن؛ ۱۰ گرم در لیتر) و شاهد (اسپری آب) به‌عنوان کرت‌های فرعی، بودند.

آماده‌سازی زمین در اوایل فروردین ماه ۱۳۹۶ صورت گرفت، به این صورت که ابتدا خاک مزرعه شخم و سپس با استفاده از کولتیواتور خاک مزرعه به هم زده شد و عملیات تسطیح زمین انجام گرفت. کرت‌های آزمایشی به اندازه ۲۵۰×۲۰۰ سانتی‌متر ایجاد گردید. فاصله ردیف‌ها از همدیگر ۳۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف، دو و عمق کاشت، سه سانتی‌متر تنظیم گردید. کاشت بذر در ۱۵ فروردین سال ۱۳۹۶ صورت پذیرفت. خصوصیات مهم خاک شور و خاک غیر شور محل اجرای آزمایش در جدول ۱ و داده‌های هواشناسی برای سال‌های آزمایش در جدول ۲ آورده شده‌اند. محلول‌پاشی تیمارها در سال ۱۳۹۶ در سه نوبت (۶۰ روز پس از کاشت، ۹۰ روز پس از کاشت (شروع گل‌دهی) و ۱۲۰ روز پس از کاشت (گل‌دهی کامل)) و در سال ۱۳۹۷، ۳۰ روز پس از سبز شدن، شروع گل‌دهی و گل‌دهی کامل صورت پذیرفت.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of the experimental field

شوری Salinity	سیلت Silt / رس Clay / شن Sand	ماده آلی Organic material (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	نیتروژن N (%)	فسفر قابل جذب Available P	پتاسیم قابل جذب Available K	سدیم Na
						($mg.kg^{-1}$)		
غیرشور Non-saline	32 / 41 / 27	1.6	7.6	0.9	0.09	13	187	13
شور Saline	36 / 40 / 25	1.03	7.4	6.7	0.07	10	185	165

برای اندازه‌گیری عملکرد زیست‌توده (بخش رویشی گیاه)، در مرحله ظهور نیام‌ها (سال ۱۳۹۶ در ۱ شهریور و ۱۵ شهریور و در سال ۱۳۹۷ در ۱ مرداد و ۱۵ مرداد به‌ترتیب برای شرایط شور و غیر شور)، یک متر مربع از هر کرت به‌طور کامل برداشت شدند. نمونه‌های برداشت شده به‌مدت ۴۸ ساعت در آون ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشکانیده و توزین شدند. برای به‌دست آوردن عملکرد دانه در مرحله بلوغ بذر (رطوبت دانه در حدود ۱۵ درصد)، ۱ مهر (۱۶۵ روز پس از کاشت) و ۱۵ مهر (۱۸۰ روز پس از کاشت) به‌ترتیب برای شرایط شور و غیر شور) پس از حذف اثر حاشیه‌ها در هر کرت، از یک متر مربع بذور به‌طور کامل برداشت و با دقت ۰/۰۰۱ توزین شدند.

اندازه‌گیری کلروفیل برگ به‌روش تورنر (Turner, 1981) صورت پذیرفت. و در نهایت، غلظت کلروفیل a و b با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه گردید (Lichtenthaler & Buschmann, 2001):

معادله (۱)

$$\text{Chlorophyll } a \text{ } (g.l^{-1}) = (12.25 \times OD663.2) - (2.79 \times OD646.8)$$

معادله (۲)

$$\text{Chlorophyll } b \text{ } (g.l^{-1}) = (21.50 \times OD646.8) - (5.10 \times OD663.2)$$

معادله (۳)

$$\text{Total chlorophyll } (g.l^{-1}) = (0.0202\times OD\ 663.2) + (0.00802\times OD\ 646.8)$$

معادله (۴)

$$\text{Carotenoid } (g.l^{-1}) = \{1000 \times OD470) - 1.82 \text{ Chlorophyll } a - 85.02 \text{ Chlorophyll } b\}/198$$

که در آن، OD470، OD646.8 و OD663.2: به‌ترتیب نشان‌دهنده مقدار جذب در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۶/۸ و ۶۶۳/۲ نانومتر می‌باشد.

برای اندازه‌گیری محتوای پرولین از روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) بر اساس واکنش بین پرولین و ناین هیدرین استفاده شد. برای این کار ۰/۵گرم از بافت تازه برگی به‌صورت خمیر درآمد سپس بافت برگ در ۱۰ میلی لیتر اسید سولفوسالیسیلیک سه درصد قرار داده شد. نمونه‌های حاصل در طول موج ۵۲۰ نانومتر با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد.

جدول ۲- داده‌های هواشناسی ارومیه در سال‌های ۱۳۹٦ و ۱۳۹۷

Table 2- Urmia meteorological data in 2017 and 2018

سال Year		دی January	بهمن February	اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور september	مهر October	آبان November	آذر December
۱۳۹۶ 2017	دما Temperature	4.4	4.3	6.3	11.6	17.6	22.7	26.3	25.2	21.1	12.6	6.3	1.6
	رطوبت نسبی Relative humidity	76.1	7.04	60.9	49.4	43.4	35.0	33.8	34.6	35.2	45.1	66.7	73.1
	بارش Rainfall	4.06	34.55	21.84	50.28	13.2	0	0	0.51	0	1.78	37.34	6.35
۱۳۹۷ 2018	دما Temperature	0.7	3.7	11	11.6	15.7	21.9	26.8	24.1	20.1	13.7	6.3	2.9
	رطوبت نسبی Relative humidity	67.3	70.3	47	58.2	63.8	44.4	32.9	43.3	42.1	55.9	80.5	80.3
	بارش Rainfall	47	63	39.87	108.72	44	15.5	0	0	2.29	12.69	46.24	126.8

قندهای محلول کل (TSS[1]) برگ بر اساس روش فنل سولفوریک اسید (Dubois et al., 1956) تعیین شد. برای اندازه‌گیری مقدار کربوهیدرات‌های کل محلول، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی به داخل لوله آزمایش ریخته شده و سه میلی لیتر آنترون تازه تهیه شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون + ۱۰۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۷۲٪ W/W) به آن افزوده شد. لوله‌های آزمایش به‌مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شدند تا ماده رنگی تشکیل گردد. پس از خنک شدن نمونه‌ها، میزان جذب آن‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد.

عصاره‌گیری و تعیین گلایسین بتائین (GB[2]) بر اساس روش گریو و گراتان (Grieve & Grattan, 1983) انجام شد. محتوای بتائین پس از واکنش با یدید پتاسیم در طول موج ۳۶۵ نانومتر به روش اسپکتروفتومتری تعیین شد. میزان جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قابل مشاهده با اشعه ماوراء بنفش اندازه‌گیری شد (Halo DB-20-UV-Visible Spectrophotometer, Dynamica, United Kingdom).

جهت تعیین کیفیت علوفه همزمان با ۲۰ درصد گل‌دهی (۱۲۰ و ۱۳۵ روز پس از کاشت به‌ترتیب برای شرایط شور و غیر شور) برداشت انجام شد. گیاهان از ردیف‌های وسط کرت‌های آزمایشی برای هر تیمار و از ارتفاع پنج سانتی‌متری بریده شده و تا رسیدن به‌میزان رطوبت ۱۲ درصد خشک و وزن شدند. نمونه‌ها آسیاب شده و از الک‌هایی به قطر یک میلی‌متر رد شدند. میزان ماده خشک قابل هضم (DMD[3])، کربوهیدرات محلول (WSC[4])، پروتئین خام (CP[5])، خاکستر کل (ASH[6])، الیاف خام (CF[7])، فیبر محلول در اسید (ADF[8])، فیبر محلول در آب (NDF[9])، با استفاده از روش طیف سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR) Spectroscopy، مدل Percon-Inframatic 8620 اندازه‌گیری شدند. کالیبراسیون دستگاه با استفاده از روش جعفری و همکاران (Jafari et al., 2003) انجام شد.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) صورت گرفت و بررسی اثرات متقابل توسط نرم افزار MSTAT-C و به‌کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد، انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ترکیبی داده‌های دو سال نشان داد که اثر سال بر عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و میزان قندهای محلول در سطح احتمال یک درصد و اثر آن بر میزان کارتنوئید در پنج درصد معنی‌دار شد. اثر شوری بر میزان کلروفیل b و گلایسین بتائین در سطح احتمال یک درصد و اثر محلول‌پاشی بر میزان کلروفیل b در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثرات متقابل بین شوری و محلول‌پاشی بر عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، کلروفیل a، کارتنوئید، پرولین، قندهای محلول و تمامی خصوصیات مورد بررسی مربوط به کیفیت علوفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، همچنین اثرات متقابل بین سال، شوری و محلول‌پاشی بر محتوای کلروفیل a و الیاف خام در سطح احتمال پنج درصد و بر میزان پرولین، قندهای محلول و سایر اجزای کیفیت علوفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول‌های ۳ و ۴).

عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه

مقایسه میانگین‌ها داده‌ها نشان داد که در شرایط شور، عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه به‌ترتیب ۲۷ درصد و ۱۵ درصد نسبت به شرایط غیرشور کاهش یافت. در شرایط غیرشور و شور، اوره بیشترین عملکرد زیست‌توده و دانه را داشت. استفاده از اسید آسکوربیک در شرایط شور و غیرشور مزیت قابل ملاحظه‌ای در رابطه با عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه، نداشت (جدول ۵). کاهش رشد گیاه در شرایط تنش شوری را می‌توان به خشکی فیزیولوژیکی ناشی از پتانسیل کم آب محلول خاک و تنظیم اسمزی در نتیجه افزایش غلظت یونی در گیاهان نسبت داد (Hasegawa et al., 2000). به‌طور کلی، کاهش عملکرد در شرایط شوری ممکن است به‌دلیل مهار فتوسنتز تحت تنش شوری باشد که باعث جذب کمتر مواد مغذی توسط گیاه می‌شود. نتایج حاصل از تحقیقات ما با نتایج تحقیقات اوکو و همکاران (Oko, 2011) مشابه بود، آن‌ها گزارش

1- Total soluble sugars
2- Glycine betaine
3- Dry Mater Digestibility
4- Water soluble carbohydrates
5- Crude protein
6- Total ash
7- Crude fiber
8- Acid detergent fiber
9- Neutral detergent fiber

کردند اثر محلول‌پاشی نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر صفات مورفوفیزیولوژیکی داشت. وزن برگ و عملکرد زیست‌توده در گیاهان تیمار شده با نیتروژن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. ونکاتوش و باسه (Venkatesh & Basu, 2011) گزارش کردند، محلول‌پاشی اوره تعداد شاخه، اندازه و عملکرد دانه را در گیاه نخود (*Cicer aritinum* L.)، افزایش داد. وزن خشک کلم بروکلی (*Brassica oleracea* L.) به‌طور قابل توجهی تحت تنش شوری متوسط (۴۰ میلی‌مولار NaCl) کاهش یافت، امّا محلول‌پاشی اوره باعث حفظ رشد در مقادیر مشابه با گیاهان غیر شور شد (Del Amor & Cuadra-Crespo, 2011). در رابطه با عملکرد، داده‌های ما نشان می‌دهد که محلول‌پاشی اوره در شرایط شور باعث مقابله گیاه با اثرات مضر شوری می‌شود.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر محلول‌پاشی بر برخی از صفات مورد بررسی گیاه یونجه زرد (*Melilotus officinalis* L.) در خاک شور و غیرشور

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of the effects of foliar spraying on some traits of yellow sweet clover (*Melilotus officinalis* L.) under saline and non-saline soil

		میانگین مربعات Mean squares							
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	زیست‌توده Biomass	عملکرد دانه Seed yield	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کارتنوئید Carotenoid	پرولین Proline	قندهای محلول Total soluble sugars	گلایسین بتائین Glycine betaine
سال Year (Y)	1	49959602.08**	350208.33**	0.17^{ns}	0.12^{ns}	1.07*	2.52^{ns}	2.78**	3.61^{ns}
بلوک (سال) Block (B)	4	80047.92	108.33	0.15	0.05	1.24	4.74	0.06	0.55
شوری Salinity (S)	1	23060268.75**	24300.00**	0.77**	0.39**	0.71^{ns}	0.00^{ns}	0.00^{ns}	3.89**
S × Y	1	259602/08^{ns}	2.08^{ns}	0.82**	0.24*	0.38^{ns}	0.34^{ns}	0.00^{ns}	0.74**
خطای a Ea	4	49085.42	57.29	0.04	0.02	0.12	0.24	0.02	0.01
محلول‌پاشی Foliar spraying (FS)	3	1262924.31**	1824.30**	0.15^{ns}	0.12*	0.73*	14.12**	0.56**	2.54^{ns}
FS×Y	3	274718.75**	5.55^{ns}	0.41**	0.18**	2.13**	9.4**	0.82**	2.96^{ns}
FS×S	3	446552.08**	897.22**	0.25**	0.05^{ns}	1.73**	7.49**	0.60**	1.09^{ns}
FS×S×Y	3	93318.75^{ns}	2.08^{ns}	0.20*	0.03^{ns}	0.28^{ns}	9.68**	0.58**	0.91^{ns}
خطای b E b	24	59313.89	91.14	0.06	0.03	0.23	1.43	0.11	3.14
ضریب تغییرات CV (%)		5.44	3.36	4.72	7.53	8.99	10.14	10.46	19.55

*: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار.

*: Significant at the 5% probability level; **: Significant at the 1% probability level;ns: not significant

محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی

کلروفیل b تحت تأثیر شوری کاهش یافت. بیشترین میزان کلروفیل b (۲/۸۰ mg.g^{-1} FW) در سال ۱۳۹۶ و در شرایط غیر شور و کمترین میزان آن در در همان سال و در شرایط شور به‌دست آمد؛ از طرفی، بیشترین میزان گلایسین بتائین (۹/۷۵ mg.g^{-1} FW)، از سال اول و در شرایط شور مشاهده شد (جدول ۷). محلول‌پاشی گیاه یونجه

زرد با تیمار اسید آسکوربیک و پرولین مقدار کلروفیل a را در خاک شور تا حدودی کاهش داد (جدول ۶). در پژوهشی گزارش شد که تحت شرایط شوری بالا استفاده از اسید آسکوربیک (چهار میلی‌مولار) میزان کلروفیل a را در گیاهان نخود (*Cicer arietinum* L.) افزایش می‌دهد. با این حال، محتوای کلروفیل b و مجموع کلروفیل a و b تحت تأثیر استعمال خارجی اسید آسکوربیک قرار نگرفت (Beltagi, 2008). تنش شوری می‌تواند از طریق افزایش گونه‌های اکسیژن فعال که ممکن است باعث آسیب سلولی شوند، منجر به تنش اکسیداتیو شود. اسید آسکوربیک به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان برای مهار پراکسید هیدروژن عمل می‌کند (Khan et al., 2011). تنش شوری میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید را در ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) کاهش داد. با این حال، استفاده برون‌زا از پرولین باعث بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی شد (Talat et al., 2013).

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر محلول‌پاشی بر کیفیت علوفه گیاه یونجه زرد (*Melilotus officinalis* L.) در خاک شور و غیرشور

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of the effects of foliar spraying on forage quality of yellow sweet clover (*Melilotus officinalis* L.) under saline and non-saline soil

		میانگین مربعات Mean squares						
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	پروتئین خام Crude protein	ماده خشک قابل هضم Dry matter digestibility	کربوهیدرات محلول در آب Water soluble carbohydrates	فیبر محلول در اسید Acid detergent fiber	خاکستر کل ASH	الیاف خام Crude fiber	فیبر محلول در آب Neutral detergent fiber
سال Year (Y)	1	91.16**	1409.09**	51.21*	1369.06**	2.68^{ns}	18.93^{ns}	648.63**
بلوک (سال) Block (B)	4	4.64^{ns}	8.89^{ns}	4.4^{ns}	10.58^{ns}	4.33^{ns}	4.13^{ns}	13.69^{ns}
شوری Salinity (S)	1	66.67**	676.57**	1.56^{ns}	566.29**	2.78**	69.14**	485.45**
S × Y	1	9.96**	186.08**	2.52^{ns}	116.59**	0.00^{ns}	7.65**	17.29^{ns}
خطای a Ea	4	0.01	2.67	0.38	2.80	0.01	0.52	7.72
محلول‌پاشی Foliar spraying (FS)	3	63.94**	62.68**	1.49**	23.53**	1.06**	17.26**	92.46**
FS×Y	3	19.73**	14.42**	3.14**	4.53*	0.13**	47.07**	36.67**
FS×S	3	20.87**	98.58**	2.11**	95.90**	0.27**	15.78**	27.24**
FS×S×Y	3	16.92**	57.14**	2.36**	40.73**	0.71**	2.18*	30.37**
خطای b E b	24	0.62	1.24	0.07	1.21	0.01	0.59	2.46
ضریب تغییرات CV (%)		3.75	1.94	2.09	2.52	1.04	2.76	2.82

*: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار.

*: Significant at the 5% probability level; **Significant at the 1% probability level;ns: not significant

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی روی زیست‌توده و عملکرد دانه یونجه زرد (*Melilotus officinalis* L.) در سطوح شوری

Table 5- Mean comparison of foliar spraying on biomass and seed yield of yellow sweet clover (*Melilotus officinalis*) under levels of salinity

شوری Salinity	محلول‌پاشی Foliar treatments	زیست‌توده Biomass	عملکرد دانه Seed yield
		(kg.ha^{-1})	
غیرشور Non-saline	شاهد Control	4765.00±1129.98 ^{bc}	291.66±95.42 ^{bc*}
	اوره Urea	5753.33±1085.00 ^{a}	327.50±94.27 ^{a}
	پرولین Proline	5341.66±899.96 ^{b}	306.66±93.36 ^{b}
	اسید آسکوربیک Ascorbic acid	4790.00±1138.63 ^{bc}	300.00±93.22 ^{b}
شور Saline	شاهد Control	3896.66±1396.26 ^{c}	272.50±94.59 ^{c}
	اوره Urea	3970.00±1444.99 ^{c}	275.00±93.54 ^{c}
	پرولین Proline	3813.33±927.00 ^{c}	254.16±94.36 ^{cd}
	اسید آسکوربیک Ascorbic acid	3425.00±1093.28 ^{d}	244.16±92.81 ^{d}

* حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

* In each column, different letters indicate significant difference at $p \leq 0.05$.

انحراف معیار

±Standard deviation (±SD)

اسمولیت‌ها

در شرایط شور، محلول‌پاشی اوره، پرولین و اسید آسکوربیک، میزان پرولین برگ را به‌میزان قابل توجهی افزایش داد. بیشترین میزان پرولین (15.47 mg.g^{-1} FW) در سال اول از محلول‌پاشی گیاهان با اوره در شرایط غیر شور و کمترین میزان آن (9.13 mg.g^{-1} FW) در سال دوم در گیاهان شاهد و در شرایط شور به‌دست آمد (جدول ۶). با وجود اینکه میزان پرولین و قندهای محلول در شرایط شور و غیر شور معنی‌دار نبود، ولی محتوای گلایسین بتائین در خاک شور نسبت به شرایط غیرشور در سال ۱۳۹۶، هشت درصد و در سال ۱۳۹۷، چهار درصد افزایش یافت (جدول ۷). غلظت قند محلول در اثر محلول‌پاشی در شرایط شور و غیر شور افزایش یافت. محلول‌پاشی اوره و پرولین میزان کل قند محلول را در شرایط غیر شور بهبود بخشید و بیشترین میزان قندهای محلول (۴/۲۰ mg.g^{-1} FW) در سال اول و از محلول‌پاشی گیاهان با اوره در شرایط غیرشور به‌دست آمد (جدول ۶). تنظیم‌کننده‌های اسمزی می‌توانند به‌عنوان مکانیسم‌هایی برای حفظ پتانسیل آب سلولی در گیاهان تحت تنش شوری عمل کنند (Abdelaal et al., 2018). در این راستا، افزایش قندهای محلول در شرایط شوری با افزایش نشاسته و تجمع فعالیت اینورتاز همراه است (Darko et al., 2017). بهبود قابل توجه محتوای قندهای محلول (جدول ۵) ممکن است نشان دهد که اوره و اسید آسکوربیک عملکرد تعدادی از آنزیم‌ها را در فرآیند فیزیولوژیکی تحریک می‌کنند که احتمالاً محتوای قندهای محلول کل را افزایش می‌دهند (Hasani et al., 2015). گلایسین بتائین و پرولین، به‌عنوان اسیدهای آمینه مهم، اسمولیت‌هایی هستند که در گیاهان تحت تنش شوری در سطوح متفاوت ایجاد می‌شوند (Storey et al., 1977). تجمع پرولین و سنتز همزمان اسمولیت‌های مختلف در گیاهان تحت شرایط با شوری اخیراً گزارش شده است (Bhuiyan et al., 2016). تیمارهای محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر محتوای گلایسین بتائین نداشت. بر اساس گزارش‌ها، مشخص شده است که هر گونه، ترجیحاً از یک ترکیب خاص برای تعادل اسمزی استفاده می‌کند (Al Hassan et al., 2016). محلول‌پاشی با اوره، اسید آسکوربیک و پرولین باعث بهبود محتوای پرولین در شوری شد (جدول ۶).

محلول‌پاشی با افزایش کربوهیدرات‌های محلـول و محتـوای پـرولین برگ‌ها می‌تواند مسئول تنظیم میـزان آب سـلول‌هـای گیـاهی باشـد (Rady & Hemida, 2016).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل سال و محلول‌پاشی روی برخی خصوصیات فیزیولوژیکی یونجه زرد(*Melilotus officinalis* L.) در سطوح شوری

Table 6- Mean comparison of interactions effect between year and foliar spraying on some physiological traits of yellow sweet clover (*Melilotus officinalis*) under levels of salinity

سال Year	شوری Salinity	محلول‌پاشی Foliar treatments	کلروفیل a Chlorophyll a	پرولین Proline	قندهای محلول Soluble sugars total
			(mg.g^{-1} FW)		
۱۳۹۶ 2017	غیرشور Non-saline	شاهد Control	5.49±0.17 ^{ab}	12.43±0.17 ^{c}	2.73±0.16 ^{c}
		اوره Urea	5.77±0.15 ^{a}	15.47±0.15 ^{a}	4.20±0.19 ^{a}
		پرولین Proline	5.54±0.15 ^{ab}	9.38±0.10 ^{f}	3.82±0.13 ^{ab}
		اسید آسکوربیک Ascorbic acid	5.23±0.15 ^{b}	11.19±0.15 ^{d}	3.05±0.17 ^{bc}
	شور Saline	شاهد Control	5.04±0.15 ^{c}	10.73±0.15 ^{e}	3.09±0.07 ^{bc}
		اوره Urea	5.45±0.41 ^{ab}	13.63±0.53 ^{b}	3.86±0.52 ^{ab}
		پرولین Proline	4.70±0.11 ^{d}	11.89±1.14 ^{d}	2.71±0.04 ^{c}
		اسید آسکوربیک Ascorbic acid	4.77±0.09 ^{d}	11.49±0.09 ^{d}	3.99±0.21 ^{ab}
۱۳۹۷ 2018	غیرشور Non-saline	شاهد Control	4.95±0.44 ^{c}	12.37±1.51 ^{c}	3.03±0.58 ^{bc}
		اوره Urea	4.95±0.37 ^{c}	12.02±2.59 ^{c}	2.81±0.28 ^{c}
		پرولین Proline	5.04±0.26 ^{c}	12.40±1.80 ^{c}	2.89±0.18 ^{c}
		اسید آسکوربیک Ascorbic acid	5.56±0.11 ^{ab}	9.16±0.59 ^{f}	3.05±0.30 ^{bc}
	شور Saline	شاهد Control	5.59±0.13 ^{ab}	9.13±0.42 ^{f}	3.03±0.33 ^{bc}
		اوره Urea	5.02±0.19 ^{c}	12.54±1.52 ^{c}	2.94±0.18 ^{c}
		پرولین Proline	4.95±0.38 ^{c}	11.91±2.41 ^{d}	2.82±0.30 ^{c}
		اسید آسکوربیک Ascorbic acid	4.96±0.43 ^{c}	13.08±2.13 ^{b}	3.02±0.53 ^{bc}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

In each column, different letters indicate significant difference at $p \leq 0.05$.

انحراف معیار

±standard deviation (±SD)

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر سال روی کلروفیل b و گلایسین بتائین یونجه زرد (*Melilotus officinalis* L.) در سطوح شوری

Table 7- Mean comparison of year effect on Chlorophyll b and Glycine betaine of yellow sweet clover (*Melilotus officinalis*) under levels of salinity

سال Year	شوری Salinity	کلروفیل b Chlorophyll b	گلایسین بتائین Glycine betaine
		(mg.g^{-1} FW)	
۱۳۹۶ 2017	غیر شور Non-saline	2.80±0.29 ^{a}	8.93±1.26 ^{b}
	شور Saline	2.48±0.23 ^{c}	9.75±1.15 ^{a}
۱۳۹۷ 2018	غیر شور Non-saline	2.56±0.19 ^{b}	8.63±1.77 ^{c}
	شور Saline	2.52±0.19 ^{bc}	8.95±1.73 ^{b}

* حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

* In each column, different letters indicate significant difference at $p \leq 0.05$.

انحراف معیار

±Standard deviation (±SD)

کیفیت علوفه

شوری میزان پروتئین خام (CP) را کاهش داد و از طرفی، محلول‌پاشی هم در شرایط غیرشور و هم در شرایط شور میزان پروتئین خام را نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین میزان پروتئین خام در سال اول و از گیاهان محلول‌پاشی شده با اوره در شرایط غیرشور به‌دست آمد و کمترین میزان آن در سال دوم در گیاهان شاهد و در شرایط شور مشاهده شد. برخلاف نتایج حاصل از تجزیه واریانس در تحقیق حاضر، بحرینی نژاد و الله دادی (Bahreininejad & Allahdadi, 2020) در مطالعه‌ای که روی کنگرفرنگی (*Cynara scolymus* L.) در شرایط آبیاری با آب شور داشتند، گزارش کردند که افزایش سطح شوری میزان پروتئین خام را افزایش داد. به نظر می‌رسد، شرایط شور تأثیر قابل توجهی بر متابولیسم نیتروژن در گیاهان داشته و تأثیر مستقیمی بر میزان سنتز اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها دارد (Ashraf et al., 2018).

میزان ماده خشک قابل هضم (DMD) در شرایط غیرشور بیشتر از شرایط شوری بود. در شرایط غیرشور، بیشترین میزان ماده خشک قابل هضم (۶۹/۵۶ درصد) در گیاهان محلول‌پاشی شده با اسید آسکوربیک در سال اول مشاهده شد و کمترین میزان ماده خشک قابل هضم (۴۵/۰۴ درصد) سال دوم در شرایط شور و در گیاهان تیمار شده با پرولین مشاهده شد (جدول ۷). اگر چه موسوی‌فر و همکاران (Moosavifar et al., 2016) نشان دادند که میزان ماده خشک قابل هضم تحت تأثیر شوری قرار نگرفت، امّا در تحقیق حاضر، نتایج حاصل از جدول مقایسه میانگین (جدول ۸) نشان داد که در شرایط شوری میزان ماده خشک قابل هضم نسبت به شرایط غیر شور، کاهش یافت. کاهش ماده خشک قابل هضم در شرایط شوری می‌تواند به‌دلیل کاهش محتوای پروتئین خام و افزایش محتوای الیاف محلول در آب و الیاف محلول در شوینده اسیدی باشد (Hedayati-Firoozabadi et al., 2020).

سال اول در شرایط غیرشور محلول‌پاشی اوره، پرولین و اسید آسکوربیک میزان کربوهیدرات محلول در آب را افزایش داد، ولی میزان آن درشرایط شوری در محلول‌پاشی اوره نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. بیشترین میزان کربوهیدرات محلول در آب (WSC) (۱۵/۷۱ درصد) در سال اول، در شرایط شور و در گیاهان تیمار شده با پرولین، به‌دست آمد و کمترین میزان آن (۱۲/۲۷ درصد) در سال دوم در گیاهان محول‌پاشی شده با اسید آسکوربیک و در شرایط شوری مشاهده شد (جدول ۷). در تحقیق حاضر، شوری تأثیر معنی‌داری بر میزان کربوهیدرات محلول در آب نداشت. بر اساس مطالعات صورت پذیرفته واکنش کربوهیدرات محلول در آب در شرایط شور متفاوت است. به نظر می‌رسد که این املاح در پاسخ به تنش شوری در گیاهان نقش اساسی ایفا نمی‌کنند. مطالعات متعددی در مورد تأثیر شوری بر کربوهیدرات‌های محلول در آب در محصولات علوفه‌ای منتشر شده است. برخی از تحقیقات نشان دادند، شوری تأثیری بر میزان کربوهیدرات محلول ندارد (Bahreininejad & Allahdadi, 2020). امّا تیموری و همکاران (Teimouri et al., 2009) گزارش

کردند، کربوهیدرات‌های محلول تحت تنش شوری در سه گونه گیاه علف شور کاهش یافت، ولی نتایج حاصل از تحقیقات باوی و همکاران (Bavi et al., 2011) نشان داد در شرایط شوری میزان کربوهیدرات‌های محلول افزایش یافت.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل سال و محلول‌پاشی روی کیفیت علوفه یونجه زرد (*Melilotus officinalis* L.) در سطوح شوری

Table 8- Mean comparison of interactions effect between year and foliar spraying on forage quality of yellow sweet clover (*Melilotus officinalis*) under levels of salinity

سال Year	شوری Salinity	محلول‌پاشی Foliar treatments	فیبر محلول در آب Neutral detergent fiber	الیاف خام Crude fiber	خاکستر کل ASH	فیبر محلول در اسید Acid detergent fiber	کربوهیدرات محلول در آب Water soluble carbohydrates	قابلیت هضم ماده خشک Dry matter digestibility	پروتئین خام Crude protein
			(%)						
۱۳۹۶ 2017	غیرشور Non-saline	شاهد Control	50.46±1.04 e*	28.45±1.04 b	10.16±1.04 b	34.83±1.04 de	13.84±1.04 ab	65.53±1.04 b	20.48±1.04 c
		اوره Urea	50.67±1.04 e	30.12±1.04 ab	10.50±1.04 ab	33.86±1.04 e	14.45±1.04 a	69.56±1.04 a	25.97±1.04 a
		پرولین Proline	51.49±1.04 e	29.84±1.04 b	9.80±1.04 cd	43.80±1.04 c	13.97±1.04 ab	56.06±1.04 d	21.99±1.04 ab
		اسید آسکوربیک Ascorbic acid	45.01±1.04 f	28.84±1.04 b	9.69±1.04 cd	33.40±1.04 e	15.36±1.00 a	67.62±1.02 a	24.18±1.04 a
	شور Saline	شاهد Control	58.52±1.04 c	29.56±1.04 b	10.96±1.04 a	41.08±1.04 cd	12.49±1.04 b	60.66±1.04 c	20.50±1.15 c
		اوره Urea	58.25±1.04 c	29.33±1.04 b	10.28±1.04 b	43.08±1.04 c	12.57±1.04 b	59.32±1.04 c	22.96±1.04 b
		پرولین Proline	50.14±1.04 e	24.08±1.03 cd	9.76±1.04 cd	35.30±1.04 de	15.71±1.04 a	64.10±1.04 b	21.89±1.04 b
		اسید آسکوربیک Ascorbic acid	51.36±1.04 e	27.28±0.83 c	10.99±1.04 a	41.44±1.04 cd	13.59±1.04 ab	60.40±1.04 c	21.49±1.04 b
۱۳۹۷ 2018	غیرشور Non-saline	شاهد Control	55.28±3.60 d	28.68±0.76 b	9.34±0.16 d	40.01±3.67 d	12.16±0.66 b	62.95±3.17 ab	15.19± 0.62 d
		اوره Urea	59.27±0.93 c	26.73±0.85 c	9.72± 0.24 cd	47.57±2.23 b	11.76±0.92 c	53.67±2.23 cd	20.32±0.51 c
		پرولین Proline	59.57±2.87 c	33.54±0.52 a	9.08±0.12 d	47.96±0.68 b	11.37±0.07 c	51.98±0.93 cd	16.42±0.49 d
		اسید آسکوربیک Ascorbic acid	48.13±2.26 f	26.48±1.45 c	10.04±0.8 b	40.62±3.08 d	12.27±0.42 b	62.88±3.06 ab	25.61±0.86 a
		شاهد Control	61.06±0.79 b	27.87±0.81 c	10.21±0.13 b	53.16±0.54 ab	12.09±0.26 b	45.63±0.42 d	17.44±1.44 cd
		اوره Urea	66.50±0.28 a	23.05±0.11 d	10.28±0.02 b	55.59±1.83 a	12.07±0.27 b	48.19±1.64 cd	22.57±0.28 b
		پرولین Proline	62.58±3.00 b	28.69±1.43 b	9.71±0.19 cd	53.77±0.63 ab	11.42±0.16 c	45.04±1.04 d	18.89±1.40 bc
		اسید آسکوربیک Ascorbic acid	61.75±2.89 b	23.03±1.32 d	10.00±0.04 b	53.59±0.38 ab	12.37±0.48 b	46.53±0.35 d	18.28±1.46 bc

* حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

* In each column, different letters indicate significant difference at $p \leq 0.05$.

انحراف معیار

±standard deviation (±SD)

شوری، میزان فیبر محلول در اسید (ADF[1]) و فیبر محلول در آب

1 - Acid detergent fiber

(NDF[1]) را نسبت به شرایط غیرشور به‌ترتیب ۱۴ و ۱۱ درصد افزایش و میزان الیاف خام (CF[2]) را ۸/۲۵ درصد نسبت به شرایط غیرشور کاهش داد. همچنین در شرایط شوری، تیمار با اوره، میزان فیبر محلول در اسید و فیبر محلول در آب را در هر دو سال افزایش داد. بیشترین میزان فیبر محلول در اسید (۵۵/۵۹ درصد) و فیبر محلول در آب (۶۶/۵۰ درصد)، سال ۱۳۹۷ در شرایط شور و از گیاهان یونجه محلول‌پاشی شده با تیمار اوره به‌دست آمد و کمترین میزان فیبر محلول در اسید (۳۳/۴۰ درصد) و فیبر محلول در آب (۴۵/۰۱ درصد)، در سال ۱۳۹۶ در شرایط غیرشور و در تیمار اسید آسکوربیک مشاهده شد (جدول ۷). نتیجه مشابهی توسط هدایتی فیروزآبادی و همکاران (Hedayati-Firoozabadi et al., 2020) گزارش شده است، آن‌ها بیان کردند شوری میزان فیبر محلول در اسید و فیبر محلول در آب را در گیاهان سورگوم (*Sorghum bicolor*) (در شوری ۷ و ۱۴ دسی زیمنس بر متر) افزایش داد، امّا موسوی‌فر و همکاران (Moosavifar et al., 2019) نشان دادند این دو پارامتر در گیاه کوشیا (*Kochia scoparia* L.) تحت تأثیر شوری قرار نگرفتند. شرایط نامطلوب مانند شوری در طول فصل رشد باعث افزایش پلی ساکاریدها در دیواره سلولی و کاهش کربوهیدرات‌های محلول می‌شود و در نتیجه، منجر به افزایش الیاف نامحلول و افزایش ADF و NDF می‌شود که به‌طور کلی، کیفیت علوفه را کاهش می‌دهد (Al-Dakheel et al., 2015). در این تحقیق، میزان فیبر محلول در اسید و فیبر محلول در آب در شرایط شوری در اثر محلول‌پاشی اوره افزایش یافت، ولی دِلِواتی و همکاران (Delevatti et al., 2019) گزارش کردند، با افزایش نیتروژن میزان هر دوی این فیبرها کاهش پیدا می‌کند. در رابطه با الیاف خام، در هر دو سال در شرایط شور، محلول‌پاشی با پرولین و اسید آسکوربیک تا حدودی میزان آن را کاهش داد. بیشترین میزان الیاف خام (۳۳/۵۴ درصد) در شرایط غیرشور و در گیاهان یونجه محلول‌پاشی شده با تیمار پرولین در سال ۱۳۹۷ مشاهده شد و کمترین میزان آن (۲۳/۰۳ درصد)، در سال دوم در شرایط شور و از تیمار اسید آسکوربیک به‌دست آمد و بعد از آن هم تیمار اوره با ۲۳/۰۵ درصد قرار داشت (جدول ۷). اگرچه نتایج حاصل از تحقیق دیانتی تیلکی (Dianati Tilaki, 2015) نشان داد، با افزایش شوری درصد فیبر خام افزایش یافت، ولی در تحقیق حاضر شوری میزان الیاف خام را کاهش داد که این نتیجه با یافته حاصل از پژوهش هدایتی فیروزآبادی و همکاران (Hedayati-Firoozabadi et al., 2020) مشابه است، آن‌ها بیان کردند، شوری میزان الیاف خام را در گیاه سورگوم کاهش داد.

میزان خاکستر کل (ASH[3]) در شرایط شور ۴/۶ درصد بیشتر از شرایط غیر شور بود. در سال اول، بیشترین میزان خاکستر کل در شرایط شور و از گیاهان شاهد (۱۰/۹۶ درصد) و گیاهان محلول‌پاشی شده با اسید آسکوربیک (۱۰/۹۹ درصد) به‌دست آمد (جدول ۷). ولی-زاده و همکاران (Valizadeh et al., 2016) نیز گزارش کردند، با افزایش شوری میزان خاکستر کل در گیاه کوشیا به‌دلیل جذب سدیم بیشتر افزایش یافت، همچنین افزایش میزان خاکستر کل در شرایط شوری توسط موسوی‌فر و همکاران (Moosavifar et al., 2019) نیز گزارش شده است. افزایش قابل توجه خاکستر کل در شرایط شوری می‌تواند ناشی از جذب بیش از حد نمک در شرایط تنش باشد. در شرایط شور، گیاهان مقدار زیادی نمک را جذب می‌کنند و سپس مقدار بیشتری نمک را به ساقه منتقل می‌کنند که منجر به محتوای خاکستر بیشتر می‌شود (Nabati et al., 2014).

نتیجه‌گیری

این تحقیق درک بهتری از اثر شوری بر جنبه‌های فیزیولوژیکی و کیفیت گیاه یونجه زرد ارائه می‌کند. شوری به‌شدت رشد، عملکرد و کیفیت علوفه گیاه را تحت تأثیر قرار داد. به‌طور کلی، عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه در شرایط شور نسبت به شرایط غیرشور کمتر بود. در هر دو شرایط، محلول‌پاشی اوره بیشترین تأثیر را بر عملکرد گیاه یونجه داشت و میزان آن را نسبت به شاهد و سایر تیمارها افزایش داد. کیفیت علوفه گیاهان با پروتئین خام، هضم-پذیری و انرژی متابولیسمی نسبت مستقیم و با ADF[4] و فیبر خام نسبت عکس دارد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، میزان NDF[5] و ADF[6] در شرایط شور نسبت به شرایط غیر شور افزایش یافت. در شرایط شور، محلول‌پاشی گیاهان با اسید آسکوربیک میزان پروتئین خام را نسبت به شاهد و سایر تیمارها افزایش داد. بیشترین میزان فیبر محلول در اسید و فیبر محلول در آب، در شرایط شوری و در اثر محلول‌پاشی گیاه یونجه با اوره، به‌دست آمد. بنابراین، در شرایط شوری محلول‌پاشی گیاهان یونجه زرد با اسید آسکوربیک باعث

1 - Neutral detergent fiber
2 - Crude fiber
3 - Total ash
4 - Acid detergent fiber
5 - Acid detergent fiber
6 - Acid detergent fiber

افزایش کیفیت علوفه و محلول‌پاشی با اوره منجر به کاهش کیفیت علوفه شد.

نویسندگان مقاله از آقای وکیلی مسئول آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه ارومیه به‌جهت کمک در اجرای آزمایشات این تحقیق قدردانی می‌کنند.

سپاسگزاری

References

1. Abdelaal, K., Hafez, Y.M., El-Afry, M.M., Tantawy, D.S., & Alshaal, T. (2018). Effect of some osmoregulators on photosynthesis, lipid peroxidation, antioxidative capacity, and productivity of barley (*Hordeum vulgare* L.) under water deficit stress. *Environmental Science and Pollution Research, 25*, 30199-30211. DOI: 10.1007/s11356-018-3023-x
2. Acosta Motos, J.M., Ortuño, A., Bernal-Vicente, P., Diaz Vivancos, M., Sanchez Blanco, M.J., & Hernandez, J.A. (2017). Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy, 7*(1), 18. DOI: 10.3390/agronomy7010018
3. Al Hassan, M., Pacurar, A., López-Gresa, M.P., Donat-Torres, M.P., Llinares, J.V., Boscaiu, M., & Vicente, O. (2016). Effects of salt stress on three ecologically distinct Plantago species. *Plos One 11*, e0160236. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160236
4. Al-Dakheel, A.J., Hussain, M.I., & Rahman, A. (2015). Impact of irrigation water salinity on agronomical and quality attributes of *Cenchrus ciliaris* L. accessions. *Agricultural Water Management, 159*, 148–154. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.014
5. Ashraf, M., & Harris, P.J.C. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science, 166*, 3-16. DOI: 10.1016/j.plantsci.2003.10.024
6. Ashraf, M., Shahzad, S.M., Imtiaz, M., & Rizwan, M.S. (2018). Salinity effects on nitrogen metabolism in plantsfocusing on the activities of nitrogen metabolizing enzymes: A review. *Journal of Plant Nutrition, 41*, 1065-1081. DOI:10.1080/01904167.2018.1431670
7. Bahreininejad, B., & Allahdadi, M. (2020). Effects of saline irrigated water on forage quality of globe artichoke (*Cynara cardunculus* var. scolymus L.). *Iran Agricultural Research, 39*(1), 59-66. DOI: 10.22099/IAR.2020.34907.1363
8. Bates, L., Waldren, R.P., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil, 39*, 205-207.
9. Bastam, N., Baninasab, B., & Ghobadi, C. (2013). Interactive effects of ascorbic acid and salinity stress on the growth and photosynthetic capacity of pistachio (*Pistacia vera* L.) seedlings. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 88*, 610-616. DOI:10.1080/14620316.2013.11513014
10. Bavi, V., Shiran, B., & Arzani, A. (2011). Evaluation of salinity tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor* L.) using ion accumulation, proline, and peroxidase criteria. *Plant Growth Regulation, 64*(3), 275-285. DOI:10.1007/s10725-011-9568-z
11. Beltagi, M.S. (2008). Exogenous ascorbic acid (Vitamin C) induced anabolic changes for salt tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) plants. *African Journal of Plant Science, 2*, 118-123.
12. Bhuiyan, M.S.I., Maynard, G., Raman, A., Hodgkins, D., Mitchell, D., & Nicol, H. (2016). Salt effects on proline and glycine betaine levels and photosynthetic performance in *Melilotus siculus*, *Tecticornia pergranulata*, and *Thinopyrum ponticum* measured in simulated saline conditions. *Functional Plant Biology, 43*, 254-265. DOI: 10.1071/FP15330
13. Chen, T.H.H., & Murata, N. (2008). Glycine betaine: An effective protectant against abiotic stress in plants. *Trends in Plant Science, 13*, 499–505. DOI: 10.1016/j.tplants.2008.06.007
14. Cheng, L., Dong, S., & Bates, T. (2002). Urea uptake and nitrogen mobilization by apple leaves in relation to tree nitrogen status in autumn. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 77*, 13-18.
15. Chorepsima, S., Tentolouris, K., Dimitroulis, D., & Tentolouris, N. (2013). Melilotus: Contribution to wound healing in the diabetic foot. *Journal of Herbal Medicine, 3*, 81-86. DOI:10.1016/j.hermed.2013.04.005
16. Darko, E., Gierczik, K., Hudak, O., Forgo, P., Pal, M., Türkösi, E., Kovacs, V., Dulai, S., Majlath, I., Molnar, I., &

Janda, T. (2017). Differing metabolic responses to salt stress in wheat-barley addition lines containing different 7H chromosomal fragments. *Plos One, 12*(3), e0174170. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174170

17. Dawood, M.G., Taie, H.A.A., Nassar, R.M.A., Abdelhamid, M.T., & Schmidhalter, U. (2014). The changes induced in the physiological, biochemical, and anatomical characteristics of *Vicia faba* by the exogenous application of proline under seawater stress. *South African Journal of Botany*, *93*, 54-63. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.03.002
18. Del Amor, F.M., & Cuadra-Crespo, P. (2011). Alleviation of salinity stress in broccoli using foliar urea or methyl-jasmonate: Analysis of growth, gas exchange, and isotope composition. *Plant Growth Regul, 63*, 55–62. DOI:10.1007/s10725-010-9511-8
19. Delevatti, L.M., Cardoso, A.S., Barbero, R.P., Leite, R.G., Romanzini, E.P., Ruggieri, A.C., & Reis, R.A. (2019). Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. *Scientific Reports, 9*, 7596.
20. Dianati Tilaki, G.A. (2015). Effect of salinity stress (Na_2So_4) on Forage quality of *Medicago polymorpha* and *Medicago scutelata*. *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi), 107*, 57-65. (In Persian with English Summary)
21. Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry, 28*, 350-356. DOI: https://doi.org/10.1021/ac60111a017
22. Ghasemi, K., Ghasemi, Y., Ehteshamnia, A., Nabavi, M., Nabavi, F., Ebrahimzadeh, A., & Pourmand, F. (2011). Influence of environmental factors on antioxidant activity, phenol, and flavonoid content of walnut. *Journal of Medicinal Plants Research, 5*(7), 11.
23. Grieve, C.M., & Grattan, S.R. (1983). Rapid assay for determination of water-soluble quaternary ammonium compounds. *Plant and Soil, 70*, 303-307. DOI: https://doi.org/10.1007/BF02374789
24. Hasani, M., Zamani, Z., Savaghebi, G., & Sofla, H.S. (2015). Effect of foliar and soil application of urea on leaf nutrients concentrations, yield and fruit quality of pomegranate. *Journal of Plant Nutrition, 39*, 749-755. DOI:10.1080/01904167.2015.1047525
25. Hasegawa, P., Bressan, M., Zhu, R.A., & Bohnert, J.K.H.J. (2000). Plant cellular and molecular response to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 51*, 463-499. DOI: 10.1146/annurev.arplant.51.1.463
26. Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M.N., Wani, A.S., Pichtel, J., & Ahmad, A. (2012). Role of proline under changing environments. A review. *Plant Signaling and Behavior, 7*, 1456-1466. DOI: 10.4161/psb.21949
27. Hedayati-Firoozabadi, A., Kazemeini, S.A., Pirasteh-Anosheh, H., Ghadiri H., & Pessarakli, M. (2020). Forage yield and quality as affected by salt stress in different ratios of *Sorghum bicolor-Bassia indica* intercropping. *Journal of Plant Nutrition, 43*, 1-11. DOI: https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1783301
28. Isayenkov, S.V., & Maathuis, F. (2019). Plant salinity stress; many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science, 10*, 80. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00080
29. Jafari, A., Connolly, V., Frolich, A., & Walsh, E. I. (2003). A note on estimation of quality parameters in perennial ryegrass by near-infrared reflectance spectroscopy. *Irish Journal of Agricultural and Food Research, 42*, 293-299.
30. Kammann, C.I., Linsel, S., Gobling, J.W., & Koyro, H. (2011). Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* wild and on soil-plant relation. *Plant and Soil, 345*, 195-210. DOI:10.1007/s11104-011-0771-5
31. Khan, T., Mazid, M., & Mohammad, F. (2011). A review of ascorbic acid potentialities against oxidative stress in plants. *Journal of Agrobiology, 28*, 97-111. DOI: 10.2478/v10146-011-0011-x
32. Lichtenthaler, H.K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. Current Protocols in Food Analytical Chemistry, F4.3.1-F4.3.8. DOI: https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01
33. Meyer, D. (2005). Sweet clover production and management. North Dakota State University Extension Service. www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/hay/r862w.htm. Accessed 16 October 2008. National Academy of Sciences. 1971. Atlas of nutritional data on United States and Canadian feeds. Washington DC: NAS. 772p.
34. Moosavifar, B.E., Khazaei, H.R., & Kafi, M. (2019). The determine of nutrition value of Kochia (*Kochia Scoparia* L.) forage under salinity and deficit irrigation conditions. *Journal of Agroecology, 11*(2), 619-634. (In Persian with English Summary)

35. Nabati, J., Kafi, M., Nezami, A., Rezvani Moghaddam, P., Masoumi, A., & Zare Mehrgerdi, M. (2014). Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of forage kochia (*Kochia scoparia*) in different salinity levels and time. *Iranian Journal of Field Crops Research, 12*, 613–620.
36. Oko, B.F.D., Eneji, A.E., Binang, W., Irshad, M., Yamamoto, S., Honna, T., & Endo, T. (2003). Effect of foliar application of urea on reproductive abscission and grain yield of soybean. *Journal of Plant Nutrition, 26*(6), 1223–1234. DOI: https://doi.org/10.1081/PLN-120020366
37. Puyang, X., An, M., Han, L., & Zhang, X. (2015). Protective effect of spermidine on salt stress induced oxidative damage in two Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) cultivars. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 117*, 96-106. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2015.03.023
38. Rady, M.M., & Hemida, K.A. (2016). Sequenced application of ascorbate-proline-glutathione improves salt tolerance in maize seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 133*, 252-259. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.07.028
39. Rogers, M., Colmer, T., Frost, K., Henry, D., Cornwall, D., Hulm, E., Deretic, J., Hughes, S., & Craig, A. (2008). Diversity in the genus *Melilotus* for tolerance to salinity and waterlogging. *Plant and Soil, 304*, 89-101.
40. Ruan, J., & Gerendás, J. (2015). Absorption of foliar-applied urea-15N and the impact of low nitrogen, potassium, magnesium, and sulfur nutritional status in tea (*Camellia sinensis* L.) plants. *Soil Science and Plant Nutrition, 61*, 653-663. DOI: https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1027134
41. Sajid, Z.A., & Aftab, F. (2016). Foliar spray of ascorbic acid improves salinity tolerance in *Solanum tuberosum* L. *Acta Horticulturae, 1145*, 69-74. DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1145.10
42. Sharma, P., & Dubey, R.S. (2005). Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Growth Regulation, 46*, 209-221.
43. Stefanovic, D., Tesic, D., & Ljiljana, R. (2015). *Melilotus albus* and *Dorycnium herbaceum* extracts as sources of phenolic compounds and their antimicrobial, antibiofilm, and antioxidant potentials. *Journal Food Drug Journal of Food and Drug Analysis, 23*(3), 417-424. DOI: 10.1016/j.jfda.2015.01.003
44. Storey, R., Ahmad, N., & Wyn Jones, R.G. (1977). Taxonomic and ecological aspects of the distribution of glycine betaine and related compounds in plants. *Oecologia, 27*, 319-332. DOI: 10.1007/BF00345565
45. Talat, A., Nawaz, K., Hussain, K., Bhatti, K.H., Siddiqi, E.H., Khalid, A., Anwer, S., & Sharif, M.U. (2013). Foliar application of proline for salt tolerance of two wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *World Applied Sciences Journal, 22*, 547–554. DOI:10.5829/idosi.wasj.2013.22.04.19570
46. Teimouri, A., Jafari, M., & Azarniv, H. (2009). Effect of proline, soluble carbohydrates, and water potential on resistance to salinity of three Salsola species. *Desert, 14*, 15-20. DOI: 10.22059/JDESERT.2010.21742
47. Turner, N.C. (1981). Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water stress. *Plant and Soil, 58*, 339-366.
48. Valizadeh, R., Mahmoudi-Abyane, M., & Ganjavi R. (2016). Chemical composition, *in vitro* digestibility, and fermentative gas production of *Kochia scoparia* irrigated by water containing different levels of salinity. *Iranian Journal of Animal Science Research, 8*(2), 238-247. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22067/IJASR.V8I2.27715
49. Valizadeh-Kamran, R., Vajdi Mehrabani, L., & Pessarakli, M. (2019). Effects of foliar application of methanol on some physiological characteristics of *Lavandula stoechas* L. under NaCl salinity conditions. *Journal of Plant Nutrition, 42*, 1-8. DOI:10.1080/01904167.2018.1554677
50. Venkatesh, M.S., & Basu, P.S. (2011). Effect of foliar application of urea on growth, yield, and quality of chickpea under rainfed conditions. *Journal of Food Legumes, 24*(2), 110-112.
51. Wani, A.S., Ahmad, A., Hayat, S., & Tahir, I. (2016). Is foliar spray of proline sufficient for mitigation of salt stress in *Brassica juncea* cultivars? *Environmental Science and Pollution Research, 23*, 13413-13423. DOI: 10.1007/s11356-016-6533-4

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

Research Article
Vol. 15, No. 4, 2024, p. 683-698

Morpho-Physiological and Yield Responses of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) to Foliar Application of Methyl Jasmonate and Salicylic Acid under Drought Stress

Mohamad Forouzandeh[1], Soheil Parsa[2]*, Ali Izanloo[3] and Sohrab Mahmoudi[3]

1- Ph.D. Student in Crop Physiology, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, and Member of Plant and Environmental Stress Research Group, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran
3- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, and Member of Plant and Environmental Stress Research Group, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran
(*- Corresponding author Email: sparsa@birjand.ac.ir)

Received: 18-11-2021
Revised: 18-03-2022
Accepted: 04-04-2022
Available Online: 25-01-2021

How to cite this article:
Forouzandeh, M., Parsa, S., Izanloo, A., & Mahmoudi, S. (2024). Morpho-physiological and Yield Responses of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) to Foliar Application of Methyl Jasmonate and Salicylic Acid under Drought Stress. *Journal of Agroecology*, *15*(4), 683-698. (in Persian with English abstract).
https:// doi.org/10.22067/agry.2022.73671.1080

Introduction

Drought conditions are one of the most important abiotic stresses in the world. In the first place, the best way to prevent the reduction of crop yields in drought conditions is to use natural compounds that play a key role in growth, development, and response to environmental stresses. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) belongs to the Chenopodiaceae family, a plant with high nutritional value and rich in protein as a future crop. Due to the high resistance to various biotic and abiotic stresses, global demand for quinoa is increasing, and its global production is less than market purpose.

Materials and Methods

This experiment was conducted during the 2020-2021 cropping season as split plots based on a randomized complete block design with three replications at the Zabol University (UOZ) research farm, Iran. The main plot factor was irrigation regimes at three levels: 1- Irrigation equal to 100% crop water requirement (control), 2- Deficit irrigation equal to 75% crop water requirement (mild stress), 3- Deficit irrigation equal to 50% crop water requirement (severe stress) and six levels of foliar application was assigned to the subplot: Control (sprayed with distilled water without ethanol), 70% ethanol, 0.5 mM SA, 0.5 mM MeJA, 1 mM SA and 1 mM MeJA. This study measured plant height, stem diameter, panicle dry weight, root dry weight, dry matter, seed yield, harvest index, stomatal conductance, electrolyte leakage, chlorophyll florescence and water use efficiency. Determination of irrigation interval and crop water requirement was based on CROPWAT 8.0 software and the Penman-Mantis equation. For plant coefficients, used FAO default data. Irrigation planning was determined with 85% efficiency, and the water volume of each plot was calculated using a digital water meter.

Results and Discussion

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https:// doi.org/10.22067/agry.2022.73671.1080

The results revealed that the irrigation 50% crop water requirement (severe stress), regime increased electrolyte leakage, water use efficiency, and root dry weight, whereas it did not significantly affect Fv/Fm, stomatal conductance, and harvest index. The highest plant height, with a mean of 144.02 cm, was obtained from 100% crop water requirement and 1 mM SA, and the lowest, with a reduction 71.5%, was obtained at 50% crop water requirement and no spraying conditions. Quinoa had 54.3% higher seed yield than control under drought stress conditions owing to unaffected Fv/Fm and stomatal conductance and less electrolyte leakage. Spraying 1 mM MeJA and SA increased chlorophyll fluorescence (22.4%), stomatal conductance (53.4%), and harvest index (38%). In severe drought stress (supply 50% crop water requirement), foliar application significantly increased the water use efficiency (from 0.2 to 1.1 kg m^{-3}). In severe drought stress, increased quinoa seed yield was due to an increase in water use efficiency. According to the results, drought stress decreased physiological and seed yield traits; 1 mM MeJA could increase the seed yield (292.93 g m^{-2}) and partially compensate for the reduction caused by drought stress. Also, seed yield with a mean of 281.96 g m^{-2} was in the second rank at 1 mM MeJA application and 75% crop water requirement (mild stress) conditions. Fv/Fm ratio was not significantly affected by drought stress. The highest harvest index was observed in 1 mM MeJA and SA compared to the control. Therefore, to minimize the effect of drought stress, we could recommend using 1 mM MeJA.

Conclusion

The least stress treatment for quinoa economic yield supply was 100% crop water requirement (control) and 1 mM MeJA application. Also, the average seed yield (281.96 g m^{-2}) was at the second rank in 1 mM MeJA and 75% crop water requirement (mild stress) treatment. It seems that stress tolerance mechanisms study and MeJA foliar application are necessary, especially in areas with less water, and we need to develop crops that are possible to produce high quantities with require low water in farms.

Keywords: Chlorophyll fluorescence, CROP WATT software, Drought stress, Plant growth regulator, Water use efficiency

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ٦۹۸-٦۸۳

پاسخ مورفوفیزیولوژیکی و عملکردی کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild) به محلول‌پاشی برگی متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی

محمد فروزنده[۱]، سهیل پارسا[۲]*، علی ایزانلو [۳] و سهراب محمودی [۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۵

چکیده

استفاده از برخی مواد شیمیایی با ساختار مشابه ترکیبات طبیعی، یکی از راهکارهای پایدار برای جلوگیری از کاهش عملکرد و پاسخ گیاهان زراعی در شرایط خشکی است. بدین منظور، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل اجرا شد. عامل اصلی آبیاری در سه سطح شامل: ۱- آبیاری کامل معادل ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (شاهد)، ۲- کم آبیاری معادل ۷۵ درصد نیاز آبی (تنش متوسط)، ۳-کم آبیاری معادل ۵۰ درصد نیاز آبی (تنش شدید) و عامل فرعی شامل شش سطح محلول‌پاشی: ۱- شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر)، ۲- حلال اتانول ۷۰ درصد، ۳- اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار، ۴- متیل جاسمونات ۰/۵ میلی-مولار، ۵- اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار و ۶- متیل جاسمونات یک میلی‌مولار بود. در این تحقیق، صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن خشک خوشه و ریشه، ماده خشک، عملکرد دانه، شاخص برداشت، نشت الکترولیت، هدایت روزنه‌ای، فلورسانس کلروفیل و کارایی مصرف آب، مورد بررسی قرار گرفت. نشت الکترولیت، کارایی مصرف آب و وزن خشک ریشه در تنش شدید خشکی افزایش یافت، درحالی‌که فلورسانس کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و شاخص برداشت تحت تأثیر قرار نگرفت. محلول‌پاشی یک میلی‌مولار متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک باعث افزایش فلورسانس کلروفیل (۲۲ درصد)، هدایت روزنه‌ای (۵۳ درصد) و شاخص براشت (۳۸ درصد) نسبت به عدم محلول‌پاشی شد. کاربرد متیل جاسمونات در شرایط تنش شدید، کارایی مصرف آب کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild.) را به‌طور قابل توجهی (از ۰/۲ به ۱/۱ کیلوگرم در مترمکعب) افزایش داد. دلیل افزایش کارایی مصرف آب تحت تنش شدید خشکی، افزایش عملکرد دانه کینوا بود. اگرچه تنش خشکی باعث کاهش صفات مورفولوژیک و عملکردی شد، ولی کاربرد یک میلی‌مولار متیل جاسمونات توانست عملکرد دانه (۲۹۲/۹ گرم در مترمربع) را افزایش دهد و کاهش ایجاد شده توسط تنش خشکی را جبران کند. با توجه به نتایج، کاربرد الیسیتورها (نظیر متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک) در شرایط تنش خشکی، می‌تواند در تعدیل اثرات تنش نقش مؤثری داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تنظیم‌کننده رشد گیاه، فلورسانس کلروفیل، کارایی مصرف آب، نرم افزار کراپ وات

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی و عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۳- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی و عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

(*- نویسنده مسئول: (Email: sparsa@birjand.ac.ir

https:// doi.org/10.22067/agry.2022.73671.1080

مقدمه

محصولات کشاورزی اغلب تحت تأثیر عوامل محیطی تنش‌زا مانند شوری، کمبود آب، دمای بالا، غلظت یون‌های سمی و تابش ماوراء بنفش قرار می‌گیرد (Hayat et al., 2012). در این بین، تنش خشکی از رایج‌ترین عوامل محدودکننده تولیدات کشاورزی در جهان به‌شمار می‌آید (Jaleel et al., 2009). در پاسخ به تنش خشکی، تولید گونه‌های فعال اکسیژن[1] در گیاهان تحریک شده که این گونه‌های ناپایدار و بسیار واکنش‌پذیر، می‌توانند پروتئین‌ها، لیپیدهای غشایی و DNA را اکسید کنند (Zarringol, 2018). سازگاری فیزیولوژیکی رایج در گیاهان تحت تنش خشکی، تنظیم اسمزی سلول‌هاست (Gholipour et al., 2020). ترکیبات محلول سازگار مانند قندهای محلول و پرولین نقش عمده‌ای در تنظیم اسمزی دارند و غشاها را از آسیب محافظت کرده و فعالیت پروتئین‌ها و آنزیم‌ها را تثبیت می‌کنند (Emami Bistgani et al., 2017). تنظیم اسمزی و سایر پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاهان در مقابل تنش خشکی ممکن است سازگاری کوتاه‌مدت با کمبود آب موقت را فراهم کند. در صورت تداوم تنش، این استراتژی‌ها ممکن است کافی نباشد و احتمالاً هزینه بالایی را بر گیاهان تحمیل کند (Emami Bistgani et al., 2017).

اهمیت اسید سالیسیلیک و جاسمونیک به‌عنوان الیسیتور زیستی[2] در رویارویی با تنش‌ها می‌تواند به‌دلیل نقش آن‌ها در تنظیم اسمزی، حفظ پایداری غشاء، کاهش نشت یونی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی باشد (Yun-Xia et al., 2010). این ترکیبات در مقادیر خیلی کم و به‌طور طبیعی در گیاه موجود هستند و در واکنش‌های مربوط به تنش دخالت کرده و آثار منفی تنش در گیاه را تعدیل می‌نمایند (Gharib & Hegazi, 2010). در آزمایشی، کاربرد اسید جاسمونیک با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار، روی چند گونه از جنس کلزا (*Brassica* spp.) که به مدت ۱۰ روز در معرض تنش خشکی قرار گرفته بودند، سبب افزایش وزن تر، محتوای کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ[3] در مقایسه با شاهد شده است (Mahabub et al., 2014). همچنین دارابی و همکاران (Darabi et al., 2019) بیان کردند، گرچه با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد دانه و محتوای نسبی آب ارقام گندم کاهش یافت، امّا کاربرد برگی اسید سالیسیلیک در این شرایط سبب بهبود این صفات شد. کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات در گیاهان تحت شرایط تنش خشکی باعث ایجاد پاسخ‌های بیوشیمیایی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مختلف می‌شود (Anjum et al., 2011; Tayyab et al., 2020). این الیسیتورها تحمل به تنش خشکی را در گندم نان (*Triticum aestivum*) افزایش داد (Javadipour et al., 2021). در شرایط تنش، هر چه یک واریته توانایی بیشتری در نگهداری کوئینون (اولین پذیرنده الکترون) در حالت نیمه اکسید داشته باشد، بهتر می‌تواند در ایجاد تحمل نسبت به تنش‌های محیطی موفق باشد. بدین معنی که درصورتی‌که Fv/Fm کاهش نیابد، مراکز واکنش فتوسیستم II برانگیخته و کوئینون آماده پذیرش الکترون است. کاهش نسبت Fv/Fm در شرایط تنش خشکی نشان‌دهنده افت کارایی فتوسیستم II به‌دلیل کاهش انتقال الکترون است (Akhter et al., 2021). نتایج برخی مطالعات نشان داد که متیل جاسمونات نسبت Fv/Fm را افزایش می‌دهد (Sirhind et al., 2020).

کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild.) از خانواده کنوپودیاسه[4]، گیاهی شبه غله، با ارزش غذایی بالا و سرشار از پروتئین، اسیدهای چرب غیراشباع، ویتامین‌ها، مواد معدنی، فاقد گلوتن و تنها گیاهی است که تمام اسیدهای آمینه ضروری بدن را تأمین می‌کند (Tang et al., 2015) این گیاه در ۵۰۰۰ تا ۷۰۰۰ سال پیش در رشته کوه آند واقع در کشورهای بولیوی و پرو توسط انسان کشت و مصرف می‌شده است (Gordillo-Bastidas & Diaz Rizzolo, 2016). طبق آمار جهانی در طول دهه‌های گذشته، تولید و مصرف آن به‌طور تصاعدی افزایش یافته است (Angeli et al., 2020). علاوه‌بر خواص تغذیه‌ای و عملکردی آن، مقاومت زیاد در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌های خشکی، شوری و سرما و قابلیت رشد در خاک‌های فقیر، توجه روزافزون جهانی را به خود جلب کرده و به‌عنوان اولین کاندیدای جایگزین سایر غلات در نظر گرفته می‌شود تا امنیت غذایی جهانی را در قرن حاضر تأمین کند (Vidueiros et al., 2015; Zou et al., 2017).

کینوا راهبردهای مختلفی از قبیل اصلاح فرآیندهای فیزیولوژیکی و سازگاری‌های مورفولوژیکی برای کاهش تنش‌های غیر زیستی

1- Reactive oxygen species (ROS)
2- Biotic elicitor
3- Relative Water Content (RWC)
4- Chenopodiaceae

نشان می‌دهد (Azurita et al., 2015). در مورد کینوا، پس از ۱۰ روز تنش، صفات تعرق، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز همراه با کارایی مصرف آب، ثابت ماندند (Saddiq et al., 2021). در نتایج بررسی تنش خشکی بر عملکرد دانه کینوا گزارش شده، در شرایط آبیاری بعد از ۹۰ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده، عملکرد کینوا ۱۶۸۲ کیلوگرم در هکتار بوده است (Keshtkar et al., 2021). همچنین در شرایط آبیاری نرمال، اعمال غلظت‌های متوسط و در شرایط کم آبیاری شدید، اعمال غلظت بالای اسید سالیسیلیک منجر به بهبود رشد، کارایی مصرف آب و عملکرد پروتئین دانه کینوا شد (Sadeghizadeh et al., 2021).

در این مطالعه، با توجه به نقش متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک در ایجاد مقاومت به خشکی در گیاهان تحت تنش، به منظور آگاهی از مکانیسم آن‌ها و با عنایت به اهمیت گیاه کینوا در تغذیه انسان و جدید بودن این گیاه، همچنین قابلیت‌های فراوان از جمله کیفیت بسیار بالای دانه آن ازنظر پروتئین، تحمل بالا به خشکی، معرفی مناسب‌ترین غلظت متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک و تعیین بهترین میزان نیاز آبی کینوا جهت بالابردن کیفیت آن ضروری است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل (چاه نیمه) واقع در شهرستان زهک (۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ۴۸۱ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ اجرا شد. کرت اصلی سطوح آبیاری در سه سطح شامل: ۱- آبیاری کامل معادل ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (شاهد)، ۲- کم آبیاری معادل ۷۵ درصد نیاز آبی (تنش متوسط)، ۳-کم آبیاری معادل ۵۰ درصد نیاز آبی (تنش شدید) و کرت فرعی محلول‌پاشی در شش سطح شامل: ۱- شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر بدون مصرف اتانول)، ۲- حلال اتانول ۷۰ درصد، ۳- اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار، ۴- متیل جاسمونات ۰/۵ میلی‌مولار، ۵- اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار و ۶- متیل جاسمونات یک میلی-مولار بود. محلول‌پاشی در دو مرحله از رشد (شروع گل‌دهی و پرشدن دانه) انجام گرفت. مقدار محلول مورد نیاز بر اساس کالیبراسیون سمپاش با آب مقطر، ۴۰۰ لیتر در هکتار در نظر گرفته شد.

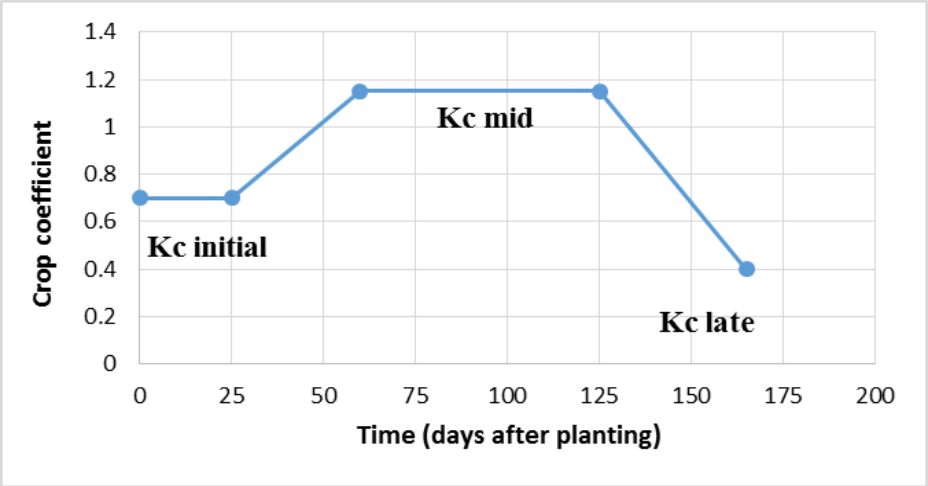
تعیین دور و حجم آبیاری توسط نرم‌افزار کراپ وات[1] به‌روش پنمن- مانتیث و بر اساس نیاز آبی گیاه بود. بدین منظور از داده‌های بلندمدت هواشناسی (دوره ۵۰ ساله) محل آزمایش استفاده شد و بر اساس نوع گیاه و ضرایب گیاهی با استفاده از ضرایب پیش فرض و استاندارد FAO، محاسبات مربوطه صورت گرفت (شکل ۱). بدین ترتیب برنامه‌ریزی آبیاری با کارایی ۸۵ درصد تعیین و با استفاده از کنتور، حجم آب محاسبه گردید. برای شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی (شاهد)، مقدار ۴۶۶۲ متر مکعب آب در هکتار در طول فصل رشد گیاه مورد استفاده قرار گرفت.

کاشت به‌صورت ردیفی که هر کرت آزمایشی شامل پنج خط کاشت به‌طول چهار متر و با فاصله خطوط ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین دو کرت اصلی دو متر و فاصله بین دو کرت فرعی ۱/۵ متر (دو خط نکاشت) و تراکم نهایی ۲۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در ۲۶ آبان به‌روش خشکه‌کاری و به‌صورت دستی انجام گرفت. براساس آنالیز انجام گرفته از خاک (جدول ۱)، کود فسفره از منبع سوپر فسفات تریپل و کود پتاسه از منبع سولفات پتاسیم تأمین و قبل از کاشت همزمان با آماده‌سازی زمین به خاک افزوده شد. کود نیتروژن نیز از منبع اوره قبل از کاشت، به‌صورت سرک در مرحله ۶-۸ برگی و قبل از گل‌دهی استفاده شد.

برای محلول‌سازی از حلال اتانول برای تیمار متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک استفاده شد. محلول‌پاشی در دو مرحله شروع گل‌دهی و پرشدن دانه به‌وسیله سم‌پاش پشتی صورت گرفت. پس از برداشت نهایی (۱۰ اردیبهشت) صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن خشک ریشه و خوشه، عملکرد دانه و ماده خشک، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب[2]، نشت الکترولیت، هدایت روزنه‌ای و فلورسانس کلروفیل اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک ریشه، ابتدا در مزرعه ساقه از محل اتصال طوقه به ریشه‌ها جدا و سپس با کمک بیل دایره‌ای به قطر ۲۰ سانتی‌متر و تا عمق ۴۰ سانتی‌متر، ریشه‌ها به همراه خاک خارج شد. سپس در پارچه بسته‌بندی و با آب مقطر شست و شو داده شد. در پایان، به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد آون قرار گرفت و وزن خشک ریشه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم محاسبه شد (Momenpour et al.,).

1- CROPWAT 8.0 software
2- Water Use Efficiency (WUE)

2015). اندازه‌گیری قطر ساقه اصلی، در آزمایشگاه از ۲۰ بوته در نزدیکی طوقه توسط کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر انجام شد.



شکل ۱- ضریب گیاهی (Kc) مورد استفاده در تعیین نیاز آبی کینوا به‌روش پنمن- مانتیث فائو ۵۶ (Allen et al., 1998)

Fig. 1- Plant coefficient (Kc) used for determining water requirements of quinoa by Penman-Monteith FAO 56 method

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical properties of soil

هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic C	درصد مواد خنثی شونده T.N.V	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	نیتروژن N	فسفر قابل دسترس P (available)	پتاسیم قابل دسترس K (available)	مس Cu	آهن Fe	روی Zn	منگنز Mn
		(%)						($mg.kg^{-1}$)					
3.63	8.15	0.08	13.5	13	14	74	0.08	2.4	178	1.36	5.68	0.94	6.04

برای اندازه‌گیری کارایی مصرف آب از معادله ۱ استفاده شد (Hamzei et al., 2015).

معادله (۱) $WUE = Y/W$

که در آن، WUE: کارآیی مصرف آب بر حسب کیلوگرم دانه بر متر مکعب آب مصرف شده، Y: عملکرد اقتصادی بر حسب کیلوگرم در هکتار و W: میزان آب مصرفی بر حسب بر متر مکعب در هکتار است.

تعیین درصد نشت الکترولیت نیز در مرحله ۹۵ درصد رسیدگی فیزیولوژیک بر اساس معادله ۲ صورت گرفت. برای این منظور، به‌طور تصادفی از هر کرت، پنج برگ جوان و تکامل‌یافته از موقعیت یکسان در بوته انتخاب و ۱۰ عدد دیسک برگی از آن تهیه و در لوله‌های آزمایش حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در دمای اتاق قرار گرفت. پس از ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی آب مقطر (EC_1) اندازه-گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش به‌مدت ۱۵ دقیقه به حمام آب جوش در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد منتقل و پس از سرد شدن، EC_2 آن‌ها مجدداً اندازه‌گیری شد (Sairam & Srivastava, 2001).

معادله (۲) درصد نشت الکترولیت = $EC_1/EC_2 \times 100$

اندازه‌گیری پارامترهای هدایت روزنه‌ای و عملکرد کوانتومی به ترتیب با دستگاه‌های پرومتر مدل Li-COR- EMS و گیره‌های مخصوص دستگاه فلورسانس کلروفیل مدل WALZ Mini-PAM (ساخت آلمان)، در محدوده زمانی که ۹۵ درصد رسیدگی خوشه‌ها انجام گرفت. بدین منظور، در بازه زمانی ۱۲ تا ۱۴ ظهر، آخرین برگ توسعه‌یافته چند گیاه انتخاب و بعد از میانگین‌گیری به‌عنوان هدایت روزنه‌ای و عملکرد کوانتومی آن کرت تعیین شد.

محاسبه هدایت روزنه‌ای بر اساس اندازه‌گیری CO_2 ورودی و خروجی گیاه انجام گرفت. بدین صورت که برگ‌ها در اتاقک گیره دستگاه قرار می‌گرفت. وقتی فتوسنتز رخ دهد، غلظت CO_2 در محفظه کاهش می‌یابد. از تفاوت تغییر غلظت CO_2 در زمان، میزان

هدایت روزنه‌ای مشخص می‌شود (Moradi & Ismail, 2007).

اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل در حالت سازگار با تاریکی توسط گیره مخصوص به‌مدت ۲۰ دقیقه انجام شد، بدین منظور، تعداد پنج گیره در قسمت میانی برگ به‌نحوی که روی رگبرگ اصلی قرار نگیرد نصب شد، سپس فلورسانس کلروفیل گیاه ثبت شد (Aminifard & Gholizade, 2018).

روش آماری تجزیه و تحلیل داده‌ها: تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از MACRO DSAASTAT و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده (FLSD[1]) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای رسم نمودار از اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، تنش خشکی ($p\leq$۰/۰۵) محلول‌پاشی ($p\leq$۰/۰۱) و برهم‌کنش بین آن‌ها ($p\leq$۰/۰۵)، تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشت. بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۱۴۴/۰ سانتی‌متر در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌دست آمد و کمترین آن با ۷۱/۵ درصد کاهش مربوط به تیمار کم آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و عدم محلول‌پاشی بود. در تمام سطوح نیاز آبی گیاه، با افزایش غلظت محلول‌پاشی، ارتفاع بوته نیز افزایش یافت (جدول ۳). اسید سالیسیلیک با تنظیم فتوسنتز، سبب افزایش میزان جذب مواد غذایی و آب شده و رشد گیاه جو (*Hordeum vulgare*) را افزایش داد (Abdelaal et al., 2020). هورمون‌های مختلف گیاهی با اسید سالیسیلیک ارتباط متقابل دارند (Wang et al., 2007). به‌عنوان مثال، مشخص شده است که بین اسید سالیسیلیک و اکسین اثر هم افزایی وجود دارد (Navarro et al., 2006). در همین راستا گزارش شد که اسید سالیسیلیک در غلظت‌های مختلف اثرات متفاوتی دارد و توانست اثرات ناشی از تنش خشکی در سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) را بکاهد (Khorramdel et al., 2012). همچنین در تحقیقی، اعمال تنش خشکی و افزایش شدت آن، ارتفاع بوته گندم را کاهش داد، درحالی‌که کاربرد اسید سالیسیلیک و اسیدجاسمونیک سبب بهبود ارتفاع بوته گیاه گردید (Vahabi et al., 2017).

قطر ساقه: نتایج مربوط به تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، تنش خشکی، الیسیتور و برهم‌کنش بین آن‌ها تأثیر معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۵) بر قطر ساقه گیاه داشت (جدول ۲). همان‌طوری‌که انتظار می‌رود، با افزایش شدت تنش خشکی، قطر ساقه گیاه کاهش معنی‌داری داشت. دلیل این کاهش احتمالاً کاهش آماس و تعداد سلول‌های ساقه است (He et al., 2020). محلول‌پاشی با غلظت یک میلی‌مولار متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک در هر دو شرایط تنش و عدم تنش خشکی سبب افزایش قطر ساقه شد. به‌طوری‌که بیشترین (۱۵/۵ میلی‌متر) و کمترین (۵/۴ میلی‌متر) قطر ساقه به‌ترتیب در شرایط عدم تنش خشکی توأم با کاربرد یک میلی‌مولار متیل جاسمونات و تنش شدید خشکی و عدم کاربرد الیسیتور به‌دست آمد (جدول ۳). تنش خشکی منجر به از بین رفتن غشای پلاسمایی و سایر اندامک‌های سلولی از جمله کلروپلاست شده و در نتیجه، کاهش قابل توجه رشد، تبادلات گازی و محتوای کلروفیل گیاه می‌شود، درحالی‌که متیل جاسمونات با حفاظت از سیستم فتوسنتزی در مقابل تنش اکسیداتیو باعث رشد، افزایش محتوای کلروفیل و در نتیجه، فعالیت فتوسنتزی بیشتر شد (Rasouli et al., 2018). جمالی و انصاری (Jamali & Ansari, 2020) نیز گزارش کردند، قطر ساقه کینوا در تیمار تنش آبی در کل دوره رشد در مقایسه با شاهد کاهش ۴۲/۴ درصدی نشان داد. بر اساس گزارش هاشمی و میردهقان (Hashemi & Mirdehghan, 2014)، تیمار کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر متیل جاسمونات قطر ساقه میخک را نسبت به شاهد افزایش داد.

وزن خشک خوشه و ریشه: روند تغییرات وزن خشک خوشه و ریشه کینوا تحت شرایط تنش خشکی حاکی از تأثیر معنی‌دار تنش بر وزن خشک خوشه ($p\leq$۰/۰۱) و ریشه ($p\leq$۰/۰۵) بود، ضمن آن که محلول‌پاشی با متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک، نیز وزن خشک هر دو اندام را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۲). برهم‌کنش تنش خشکی و محلول‌پاشی نیز بر وزن خشک خوشه ($p\leq$۰/۰۱) و ریشه ($p\leq$۰/۰۵) معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و الیسیتورها (جدول ۳) بر وزن خشک خوشه حاکی از افزایش این صفت در اثر استفاده از متیل جاسمونات در شرایط عدم تنش (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) بود. بیشترین وزن خشک خوشه مربوط به غلظت یک میلی‌مولار متیل جاسمونات بود و تیمار محلول‌پاشی ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات در رتبه دوم قرار گرفت (جدول ۳). میزان اثرگذاری متیل جاسمونات رابطه

1- Fisher's LSD (FLSD)

مستقیمی با غلظت آن دارد؛ به‌طوری‌که سبب افزایش توان آنتی‌اکسیدانی و کاهش تنش اکسیداتیو و بهبود رشد گیاه می‌شود (Mohammadi Azni et al., 2020)، که این مطلب با نتایج ما هم‌خوانی دارد. ریشه گیاه نقش مهمی در پاسخ به تنش خشکی دارد. در شرایط تنش خشکی، ریشه‌های گیاه می‌توانند به‌سرعت برای مقابله با کمبود آب تنظیم شوند (Claeys et al., 2013). در این آزمایش، با افزایش شدت خشکی، به‌ویژه تحت تیمار تنش شدید و کاربرد اسید سالیسیلیک تجمع ماده خشک ریشه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). استراتژی‌های جلوگیری از کم آبی، متکی به مکانیسم‌هایی است که در آن نرخ از دست دادن آب و جذب آب متعادل بماند. از دست دادن آب با بسته شدن روزنه و در طولانی‌مدت با محدود کردن رشد ساقه و تشکیل ریشه‌های عمیق منجر به افزایش نسبت ریشه به ساقه می‌شود (Brunner et al., 2015). افزایش وزن خشک ریشه در اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک توسط رضائی نصب و همکاران (Rezaei Nasab et al., 2016) نیز گزارش شده است.

عملکرد دانه و ماده خشک: اثر تیمارهای مربوط به تنش خشکی ($p\leq$۰/۰۵)، و محلول‌پاشی ($p\leq$۰/۰۱) و برهم‌کنش بین آن‌ها ($p\leq$۰/۰۵) بر عملکرد دانه کینوا معنی‌دار بود (جدول ۲). عملکرد دانه نیز به‌شدت از تیمارهای اعمال شده تأثیر پذیرفت و کاربرد الیسیتورها نسبت به تیمار عدم استفاده، در هر دو شرایط تنش و عدم تنش افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). در بین تیمارها، استفاده از غلظت یک میلی‌مولار متیل جاسمونات در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه کینوا (۲۹۲/۹ گرم در مترمربع) گذاشت و نسبت به شاهد ۵۴/۳ درصد افزایش عملکرد را موجب شد (جدول ۳). تحقیقات متعدد نشان‌دهنده تأثیر مثبت الیسیتورها بر عملکرد گیاه، در شرایط تنش می‌باشند (Forouzandeh et al., 2019; Behboudi et al., 2018; Ma et al., 2014). نکته جالب توجه این که استفاده از بالاترین غلظت متیل جاسمونات در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه (تنش شدید)، افزایشی معادل ۴۹۷ درصد در عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم مصرف الیسیتور داشته و حال آن که استفاده از همین غلظت در شرایط عدم تنش خشکی، تنها ۵۴/۳ درصد افزایش عملکرد نسبت به شاهد را نشان می‌دهد (جدول ۳). نتایج پژوهشی حاکی از دخالت متیل جاسمونات در بهبود تحمل به خشکی با تعدیل پراکسیداسیون لیپیدی غشا و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی است. علاوه‌بر این، کاهش تنش اکسیداتیو و حفظ محتوای آب بافت منجر به بهبود عملکرد اقتصادی تحت تنش خشکی شد (Anjum et al., 2011).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر محلول‌پاشی و تنش خشکی بر صفات اندازه‌گیری شده کینوا

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of spraying and drought stress effect on measured traits of quinoa

S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	وزن خشک خوشه Panicle dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	ماده خشک Dry matter	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replication	2	88.32	1.37	419.03	108.91	209363.60	189829.65
تنش خشکی Drought stress (D)	2	5715.47*	43.13*	108015.24**	3470.70*	3185703.38*	3274843.74*
خطای a Error a	4	700.55	6.06	5180.80	376.50	353496.53	216739.33
محلول‌پاشی Spraying (S)	5	1601.06**	9.57*	9835.76**	2948.21**	2894890.67**	2359003.27**
D× S	10	511.09*	8.15*	5452.85**	787.83*	819317.35**	150920.08*
خطای b Error b	30	228.46	3.42	1693.20	360.24	160053.02	64328.71
ضریب تغییرات CV (%)	-	15.26	15.72	18.49	17.18	10.39	12.33

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی و تنش خشکی بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده کینوا

Table 3- Mean comparisons of spraying and drought stress effect on measured characteristics of quinoa

تنش خشکی Drought stress	محلول‌پاشی Spraying	ارتفاع بوته Plant height (cm)		قطر ساقه Stem diameter (mm)		وزن خشک خوشه Panicle dry weight ($g.m^{-2}$)		وزن خشک ریشه Root dry weight ($g.m^{-2}$)		ماده خشک Dry matter ($g.m^{-2}$)		عملکرد دانه Seed yield ($g.m^{-2}$)		کارایی مصرف آب WUE ($kg.m^{-3}$)		نشت الکترولیت Electrolyte leakage (%)	
D_1	S_0	102.58	bcde*	12.41	abcd	189.7	fgh	84	e	412.9	abcd	162.8	def	0.4	e	53.40	def
	S_1	106.51	bcde	13.49	abc	295.6	abcd	86.8	e	380.4	cdef	210.11	cde	0.5	e	53.40	def
	S_2	109.53	bcde	12.84	abcd	272.3	bcde	96.1	de	407	bcde	238.04	c	0.5	de	58.53	cdef
	S_3	114.33	bcd	10.74	cd	331.9	ab	96.5	de	424.1	abcd	250.05	bc	0.5	de	58.17	cdef
	S_4	144.02	a	14.11	ab	288.5	bcde	107.2	bcde	468	ab	285	ab	0.6	cd	25.77	g
	S_5	127.29	ab	15.50	a	358.7	a	96.2	de	479.3	a	292.93	a	0.6	cd	24.17	g
D_2	S_0	87.92	e	12.06	bcd	176.6	gh	103	cde	333.8	f	162.29	fgh	0.5	e	67.77	bc
	S_1	101.46	cde	12.02	bcd	282.8	bcde	110.3	bcde	336.1	f	176.46	efg	0.5	de	68.10	bc
	S_2	94.97	de	11.75	bcd	220.8	efg	91.3	e	329	f	189.2	def	0.5	de	62.53	bcde
	S_3	84.58	e	12.17	bcd	256.3	cde	161.1	ab	414.8	abcd	238.64	c	0.7	bc	54.00	def
	S_4	92.63	de	12.70	abcd	311.7	abc	125.9	bcd	431.1	abcd	249.85	bc	0.7	bc	51.13	ef
	S_5	125.98	abc	11.41	bcd	281.9	bcde	109.7	bcde	439.3	abc	235.5	c	0.7	bc	50.40	f
D_3	S_0	40.97	f	5.41	e	145.1	h	88.5	e	140.4	g	41.18	k	0.2	f	88.20	a
	S_1	88.43	e	10.84	cd	124.3	i	99.7	de	368.1	def	123	j	0.5	de	73.07	b
	S_2	88.82	e	10.11	d	143.5	h	97	de	345.9	ef	129.6	ij	0.6	cd	63.00	bcd
	S_3	86.63	e	11.83	bcd	180.8	gh	137.5	ab	389.1	cdef	133.2	i	0.8	b	70.50	b
	S_4	90.80	de	11.96	bcd	227	ef	162.3	a	390.9	cdef	145.5	h	1.0	a	65.73	bc
	S_5	95.09	de	10.55	cd	245.8	de	134.1	abc	434.1	abcd	136.8	hi	1.1	a	66.00	bc

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده به احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

S_0: آب مقطر، S_1: اتانول ۷۰ درصد، S_2: ۰/۵میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S_3: ۰/۵میلی‌مولار متیل جاسمونات، S_4: یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک وS_5: یک میلی‌مولار متیل جاسمونات. D_1، D_2 و D_3: به‌ترتیب آبیاری معادل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه.

* Means with at least a common letter in each column are not significantly different by FLSD test at 5 % probability.

S_0: Distilled water, S_1: 70% Ethanol, S_2: 0.5 mM SA, S_3: 0.5 mM MeJA, S_4: 1 mM SA and S_5: 1 mM MeJA. D_1, D_2 and D_3: Irrigation equivalent to 100, 75 and 50 percent crop water requirement, respectively.

ماده خشک کینوا نیز مشابه عملکرد دانه تحت تأثیر تیمارهای تنش خشکی و الیسیتور قرار گرفت (جدول ۲). در بین تیمارها، کاربرد غلظت یک میلی‌مولار متیل جاسمونات در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، ماده خشکی معادل ۴۷۹/۳ گرم در مترمربع تولید نمود که علاوه‌بر آن که در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین بود، منجر به افزایش حدود ۳/۵ برابری در مقایسه با شرایط عدم استفاده از الیسیتور و تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه (تنش شدید) شد. همانند تأثیر الیسیتورها بر عملکرد دانه، کابرد این مواد علی‌الخصوص در شرایط تنش خشکی، نقش مؤثری در بهبود ماده خشک تولیدی گیاه داشت، به‌طوری‌که در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد الیسیتورها حدود ۱۶ درصد عملکرد ماده خشک را افزایش داد، حال آن که در تیمار تنش شدید، شاهد افزایش ۲/۵ برابری ماده خشک بودیم (جدول ۳). آنجوم و همکاران (Anjum et al., 2016) نیز بیان کردند که در گیاهان تیمار شده با متیل جاسمونات تحت تنش خشکی و شاهد، افزایش چشمگیر و قابل توجه عملکرد بیولوژیکی گندم مشاهده شد. متیل جاسمونات طیف گسترده‌ای از پاسخ‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را در گیاهان تحت شرایط تنش بر می‌انگیزد (Creelman & Mullet, 1997). در این مطالعه، نشت الکترولیت‌ها به‌طور قابل توجهی با قرار گرفتن در معرض متیل جاسمونات کاهش یافته که این افزایش پایداری غشاها ممکن است به حفظ محتوای بالای آب بافت کمک کند. درحالی‌که افزایش وضعیت آب بافت فعالیت چندین آنزیم دخیل در کربوکسیلاسیون را تحریک و منجر به افزایش عملکرد زیستی شود (Farooq et al., 2009).

شاخص برداشت: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، شاخص برداشت تنها تحت تأثیر محلول‌پاشی الیسیتورها قرار گرفت ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۴). به‌طوری‌که این صفت با افزایش غلظت الیسیتور افزایش یافت. بیشترین شاخص برداشت به‌طور مشترک در محلول‌پاشی غلظت‌های یک میلی‌مولار متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک به‌میزان ۳۹/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد و تیمار عدم محلول‌پاشی با میانگین ۴۲/۴۹ درصد کمترین مقدار را داشت (جدول ۵). برهم‌کنش تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات بر شاخص برداشت معنی‌دار نشد (جدول ۴). افزایش شاخص برداشت در محلول‌پاشی کیتوزان و اسید سالیسیلیک گزارش شده است (Amiri et al., 2016). گزارش شده است، بهبود شاخص برداشت غلات و حبوبات دانه ریز، نتیجه افزایش تراکم تعداد دانه در خوشه، همراه با وزن دانه است. در گزارشی افزایش پتانسیل عملکرد، عمدتاً نتیجه افزایش تولید زیست‌توده بوده است (Hay, 1995). این روند در آزمایش کشتکار و همکاران (Keshtkar et al., 2021) در کینوا نیز مشاهده شد.

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر محلول‌پاشی و تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیکی کینوا

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of spraying and drought stress effect on some morphological traits of quinoa

S.O.V	درجه آزادی df	شاخص برداشت Harvest index	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	فلورسانس کلروفیل Chlorophyll florescence	کارایی مصرف آب WUE
تکرار Replication	2	62.36	131.03	2.83	0.0254	0.0335
تنش خشکی Droght stress (D)	2	830.82 ns	2931.2*	17.57 ns	0.0080 ns	0.1186 ns
خطای a Error a	4	330.56	283.68	32.85	0.0187	0.0360
محلول‌پاشی Spraying (S)	5	388.84 **	787.13**	301.93 **	0.0346 *	0.2665 **
D× S	10	69.20 ns	221.33**	59.36 ns	0.0089 ns	0.0521 **
خطای b Error b	30	41.80	48.81	32.82	0.0136	0.0070
ضریب تغییرات CV (%)	-	12.32	11.93	19.88	14.99	13.89

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

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

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی بر صفات اندازه‌گیری شده کینوا

Table 5- Mean comparisons of simple effects of spraying on the measured traits of quinoa

تیمارها Treatments محلول‌پاشی Spraying	شاخص برداشت Harvest index (%)		هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance (m mol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$)		فلورسانس کلروفیل Chlorophyll florescence (Fv/Fm)	
S_0	42.49	d*	22.53	cd	0.67	b
S_1	47.25	cd	21.64	d	0.72	ab
S_2	52.48	bc	32.00	ab	0.81	a
S_3	54.47	ab	27.67	bc	0.80	a
S_4	59.28	a	34.49	a	0.82	a
S_5	58.70	a	34.58	a	0.82	a

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده به احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

S_0: آب مقطر، S_1: اتانول ۷۰ درصد، S_2: ۰/۵میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S_3: ۰/۵میلی‌مولار متیل جاسمونات، S_4: یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و S_5 : یک میلی‌مولار متیل جاسمونات

* Means with at least a common letter in each column are not significantly different by FLSD test at 5 % probability.

S_0: Distilled water, S_1: 70% Ethanol, S_2: 0.5 mM SA, S_3: 0.5 mM MeJA, S_4: 1 mM SA and S_5: 1 mM MeJA.

هدایت روزنه‌ای: هدایت روزنه‌ای گیاه تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی قرار نگرفت و تنها اثر محلول‌پاشی اسید سالسیلیک و متیل جاسمونات بر هدایت روزنه‌ای در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در بین تیمارهای مربوط به محلول‌پاشی، تأثیر افزایش دو برابری غلظت از ۰/۵ به یک میلی‌مولار قابل توجه بود، به‌طوری‌که اعمال غلظت یک میلی‌مولار اسید سالسیلیک و متیل جاسمونات به‌طور مشترک در یک گروه آماری قرار گرفت و در مقایسه با شاهد منجر به افزایش ۵۳ درصدی هدایت روزنه‌ای گیاه شد (جدول ۵). اگرچه الیسیتورها (اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات) قادر به فعالسازی مکانیسم‌های غلبه بر شرایط مختلف تنش در گیاه هستند (Venegas-Molina et al., 2020)، امّا افزایش گشودگی روزنه و تعرق پس از کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاه توتون (*Nicotiana rustica* L.)، ذرت و سویا (*Glycine max* L.) نیز گزارش شده است (Habibi et al., 2015; Khan et al., 2003). گیاهان می‌توانند با فرار، اجتناب و یا تحمل خشکی، به تنش خشکی عکس‌العمل و سازگاری نشان دهند. افزایش هدایت روزنه‌ای به این معنی است که کینوا استراتژی اجتناب از خشکی را انتخاب کرده است، یعنی در مواجهه با خشکی روزنه‌هایش را نمی‌بندد و گیاهی خرج‌کننده آب به‌شمار می‌رود و به‌منظور اجتناب از خشکی با استفاده از ریشه‌های عمیق و توسعه‌یافته (که در این تحقیق، وزن خشک ریشه نیز معنی‌دار شده)، تغییر زاویه و حرکت برگ و کوتیکول ضخیم در ساعات گرم و خشک از مواجهه با تنش خشکی اجتناب می‌کند. با توجه به نتایج حاضر بایستی توجه داشت که در سطح تنش شدید خشکی (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) هنوز ظرفیت فتوسنتزی کینوا به‌طور جدی تحت تأثیر قرار نگرفته و منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای گیاه نشده است. لذا، احتمالاً با پیشرفت شدت تنش، هدایت روزنه‌ای متوقف شود. از طرفی، محققان متعددی عقیده دارند که محدودکننده اصلی فتوسنتز گیاه در شرایط تنش خشکی میزان هدایت مزوفیلی است (Fischer & Maurer, 1987).

فلورسانس کلروفیل: تمام غلظت‌های اسید سالسیلیک و متیل جاسمونات باعث افزایش معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده به تاریکی (Fv/Fm) در مقایسه با شاهد شد (جدول ۴)، به‌طوری‌که مقایسه میانگین این صفت نشان داد، نسبت Fv/Fm از حداقل مقدار ۰/۶۷ در S_0 تا حداکثر مقدار ۰/۸۲ در غلظت یک میلی‌مولار متیل جاسمونات (S_5) قرار گرفت (جدول ۵). بین غلظت‌های مختلف الیسیتورهای متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). مشابه این نتایج، کاربرد ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات باعث افزایش ۹/۳ درصدی نسبت Fv/Fm ارقام گندم در مقایسه با شاهد شد (Javadipour et al., 2021). کاهش فعالیت فتوشیمیایی یکی از عوامل غیر روزنه‌ای است که فتوسنتز را محدود می‌کند (Souza et al., 2004). بنابراین، فعالیت فتوسیستم دو (PSII) در مطالعه حاضر با استفاده از روش فلورسانس کلروفیل مورد بررسی قرار گرفت، که اطلاعاتی در مورد توانایی گیاه در تحمل تنش و میزان آسیب به

سیستم فتوسنتز ارائه می‌دهد. افزایش Fv/Fm نشان می‌دهد که کاربردالیسیتورها منجر به اتلاف کمتر انرژی به‌صورت گرما در PSII گیاهان تیمار شده در مقایسه با گیاهان تیمار نشده می‌شود. همچنین این افزایش، نشان‌دهنده تولید و مصرف بیشتر ATP در زنجیره انتقال الکترون غیر حلقوی (Z شکل) نسبت به سرعت تحریک مرکز PSII است، به‌عبارتی استفاده از الیسیتور از PSII محافظت کرده است (Nogués & Baker, 2000).

براساس نتایج تجزیه واریانس، کارایی فتوسیستم II نسبت به شرایط آبیاری حساسیتی نداشت (جدول ۴). تحقیقات مختلف نشان دادند که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر شاخص Fv/Fm در برخی گیاهان زراعی از جمله کینوا ندارد که با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت داشت (Nasiri et al., Bosque Sanchez et al., 2003 ; 2020). وقتی کارایی فتوشیمیایی، نسبت Fv/Fm، بدون تغییر معنی‌دار باقی بماند، یعنی عملکرد فتوسیستم II کمتر تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد، که به نظر می‌رسد این امر به‌دلیل کارآیی بالاتر دستگاه فتوسنتزی آن باشد (Amirjani, 2011). نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر فلورسانس (Fv/Fm)، نشان‌دهنده پتانسیل عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II می‌باشد. مقدار آن برای گیاهانی که تحت تنش قرار ندارند، در دامنه‌ای بین ۰/۶۵تا۰/۸۵ می‌باشد و در صورتی که در شرایط تنش قرار بگیرند، این مقدار کمتر خواهد بود (Zhao et al., 2007).

کارایی مصرف آب: کارایی مصرف آب، اختلاف معنی‌داری در سطوح تنش خشکی و برهم‌کنش تنش خشکی و الیسیتور نشان داد ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۴). مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارها نشان داد در تمام سطوح تنش و محلول‌پاشی، بیشترین کارایی مصرف آب (۱/۱ کیلوگرم در متر مکعب) مربوط به تیمار یک میلی‌مولار متیل جاسمونات در تنش شدید بود. بعد از آن نیز کاربرد یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک با میانگین یک کیلوگرم در متر مکعب را به خود اختصاص داد که بین آن‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. کمترین میزان کارایی مصرف آب (۰/۴ کیلوگرم در متر مکعب) در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (عدم تنش) و محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد) مشاهده شد (جدول ۳). نکته جالب توجه اینکه در شرایط عدم تنش، کاربرد الیسیتور کارایی مصرف آب را ۵۰ درصد افزایش داد (از ۰/۴ به ۰/۶ کیلوگرم در متر مکعب)، امّا در تیمار تنش شدید این صفت را ۴۵۰ درصد (از ۰/۲ به ۱/۱ کیلو گرم در متر مکعب)، افزایش داد (جدول ۳). نتایج مطالعه رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2021) بر رژیم‌های آبی کینوا نشان داد که با افزایش آبیاری، کارایی مصرف آب کاهش یافت. دلیل افزایش WUE در تیمار تنش شدید خشکی را می‌توان افزایش عملکرد دانه کینوا با کاربرد الیسیتورها دانست. افزایش کارایی مصرف آب در گیاهان تحت تنش خشکی با کاربرد متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک برای سایر گونه‌های گیاهی نیز گزارش شده است (Abhari & Radman, 2020; Fugate et al., 2018).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، عملکرد اقتصادی و ماده خشک و نشت الکترولیت تأثیر گذاشت. علاوه‌بر این، وزن خشک ریشه، نشت الکترولیت و راندمان مصرف آب، با افزایش شدت تنش افزایش یافت. مناسب‌ترین تیمار آبی برای عملکرد اقتصادی بذر کینوا تأمین ۱۰۰ درصد نیازآبی گیاه توأم با کاربرد یک میلی‌مولار متیل جاسمونات بود که با تیمار یک میلی‌مولار متیل جاسمونات در شرایط تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه (تنش متوسط)، با میانگین عملکرد دانه ۲۸۱/۹۶ گرم در مترمربع، اختلاف معنی‌داری نداشت. در صفات ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه و راندمان مصرف آب، کاربرد یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌ترتیب در شرایط تأمین ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی، مناسب تشخیص داده شد. نسبت Fv/Fm کینوا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت. بررسی اثر سطوح بالاتر تنش در شرایط مزرعه برای این صفت ضروری به نظر می‌رسد. نتایج نشان داد که کینوا سازگاری نسبتاً خوبی با شرایط تنش خشکی دارد. با این حال، این استراتژی‌ها نه تنها امکان معرفی یک محصول جایگزین مفید را ارائه می‌کند، بلکه از طریق شناخت سازوکار فیزیولوژیک آن، ممکن است مسیرهای احتمالی را برای افزایش مقاومت به خشکی در سایر محصولات را نیز فراهم کند. به نظر می‌رسد که با بررسی مکانیسم‌های تحمل به تنش و کاربرد برگی الیسیتور متیل جاسمونات، به‌ویژه در مناطقی که کمبود آب دارند، تولید گیاهان با کمیت بالا همراه با کاهش مصرف آب امکان‌پذیر باشد.

References

1. Abdelaal, K.A.A., Attia, K.A., Alamery, S.F., El-Afry, M.M., Ghazy, A.I., Tantawy, D.S., Al-Doss, A.A., El-Shawy, E.-S.E.M., Abu-Elsaoud, A., & Hafez, Y.M., (2020). Exogenous application of proline and salicylic acid can mitigate the injurious impacts of drought stress on barley plants associated with physiological and histological characteristics. *Sustainability*, *12*(5), 1736. https://doi.org/10.3390/su12051736
2. Abhari, A., & Radman, A., (2020). Effect of salicylic acid on physiological N efficiency and water use efficiency of barley in cut irrigation condition. *Journal of Plant Production Research*, *27*(2), 187-200. https://doi: 10.22069/jopp.2020.16442.2499
3. Akhter, Z., Bi, Z., AlI, K., Sun, C., Fiaz, S., Haider, F. U., & BaI, J., (2021). In response to abiotic stress, DNA methylation confers epigenetic changes in plants. *Plants*, *10*(6), 1096. https://doi.org/10.3390/plants10061096
4. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M., (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome 300, D05109.
5. Aminifard, M.H., & Gholizade, Z., (2018). Effect of chicken manure on vegetative criteria and photosynthetic pigments of saffron (*Crocus sativus* L.). *Horticultural Plants Nutrition*, *1*(1), 1-17. (In Persian with English Summary)
6. https://doi.org/10.22070/HPN.2018.450
7. Amiri, A., Sirous Mehr, A., & Ismailzadeh Bahabadi, S., (2016). Effect of foliar application of salicylic acid and chitosan on yield of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *28*(4), 712-725. (In Persian with English Summary)
8. Amirjani, M.R., (2011). Comparative study of relative tolerance of chlorophyll biosynthesis and ETR of two wheat (*Triticum aestivum*) varieties in response to salt stress. *Journal of Cell & Tissue*, *1*(2), 57-67. https://doi: 10.52547/JCT.1.4.57
9. Angeli, V., Miguel Silva, P., Crispim Massuela, D., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., & Piatti, C., (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An overview of the potentials of the "Golden Grain" and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods*, *9*(2), 216. https://doi.org/10.3390/foods9020216
10. Anjum, S.A., Tanveer, M., Hussain, S., Tung, S. A., Abdul Samad, R., Wang, L., Khan, I., Noor Shah, A., Shahzad, B., & Rehman, N., (2016). Exogenously applied methyl jasmonate improves the drought tolerance in wheat imposed at early and late developmental stages. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 25-36. https:// doi. 10.1007/s11738-015-2047-9
11. Anjum, S.A., Wang, L., Farooq, M., Khan, I., & Xue, L., (2011). Methyl jasmonate-induced alteration in lipid peroxidation, antioxidative defense system, and yield in soybean under drought. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *10*, 296-301. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2011.00468.x
12. Azurita Silva, A., Jacobsen, S.E., Razzaghi, F., Álvarez Flores, R., Ruiz, K.B., Morales, A., & Silva Ascencio, H., (2015). Quinoa drought responses and adaptation. In: State of the art report on quinoa around the world. FAO: Roma, Italy. 157–171.
13. Behboudi, F., Tahmasebi Sarvestani, Z., Zaman Kassaee, M., Modares Sanavi, S., & Sorooshzadeh, A., (2018). Effect of foliar and soil application of chitosan nanoparticles on some of physiological characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.) under drought stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, *12*(45(1), 37-56. (In Persian with English Summary)
14. Bosque Sanchez, H., Lemeur, R., Van Damme, P., & Jacobsen, S.E., (2003). Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 19, 111–119. https://doi.org/10.1081/FRI-120018874
15. Brunner, I., Herzog, C., Dawes, M.A., Arend, M., & Sperisen, C., (2015). How tree roots respond to drought. *Frontiers in Plant Science*, 6, 547. DOI: 10.3389/fpls.2015.00547
16. Claeys, H., & Inze, D., (2013). The agony of choice: how plants balance growth and survival under water-limiting conditions. *Plant Physiology*, 162(4), 1768–1779. DOI: 10.1104/pp.113.220921
17. Creelman, R.A., & Mullet, J.E., (1997). Oligosaccharins, brassinolides, and jasmonates: nontraditional regulators of plant growth, development, and gene expression. *The Plant Cell*, *9(7)*, 1211-1223. https://doi.org/10.1105/tpc.9.7.1211
18. Darabi, F., Naseri, R., Mirzaei, A., & Moradi, M., (2019). Some physiological responses of two wheat cultivars to

foliar application of salicylic acid under drought stress. *Journal of Plant Ecophysiology*, *11*(38), 61-76. (In Persian with English Summary)

19. Emami Bistgani, Z., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., & Ghasemi Pirbalouti, A., (2017). The effect of drought stress and elicitor of chitosan on photosynthetic pigments, proline, soluble sugars and lipid peroxidation in *Thymus deanensis* Celak. in Shahrekord climate. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 10*(1), 12-19. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22077/escs.2017.527
20. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S., (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 153-188. https://doi.org/10.1051/agro:2008021
21. Fischer, R.A., & Maurer. R., (1987). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agriculture Research, 29*, 897–912. https://doi.org/10.1071/AR9780897
22. Forouzandeh, M., Mohkami, Z., & Fazelinasab, B., (2019). Evaluation of biotic elicitors foliar application on functional changes, physiological and biochemical parameters of fennel (*Foeniculum vulgare*). *Journal of Plant Production Research*, *25*(4), 49-65. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22069/jopp.2018.14077.2262
23. Fugate, K.K., Lafta, A.M., Eide, J.D., Li, G., Lulai, E. C., Olson, L. L., Deckard, E. L., Khan, M. F. R., & Finger, F. L. (2018). Methyl jasmonate alleviates drought stress in young sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *204*(6), 566-576. https://doi.org/10.1111/jac.12286
24. Gharib, F.A., & Hegazi, A.Z., (2010). Salicylic acid ameliorates germination, seedling growth, phytohormone and enzyme activity in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under cold stress. *Journal of American Science*, *6*(10), 675-683.
25. Gholipour, S., Zamani, G., & Jami Alahmadi, M., (2020). Investigation the possibility of decreasing the damage protein and seed oil with putrescine and calcium nitrate foliar application under water deficit conditions. *Crop Physiology Journal*, *12*(46), 5-23. (In Persian with English Summary)
26. Gordillo-Bastidas E., & Diaz Rizzolo, D., (2016). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), from nutritional value to potential health benefits: An integrative review. *Journal of Nutrition and Food Sciences, 6*(3), 1-10. DOI: 10.4172/2155-9600.1000497
27. Basseri, F., Akbarinia, M., & Esmailzadeh, O., (2015). Flora, life form and chronological study of soil seed bank in Sisangan box tree (*Buxus hyrcanus* Pojark) forest reserve. *Iranian Journal of Plant Biology*, *6*(21), 9-22. (In Persian with English Summary)
28. Habibi, G., Sadeghipour, Z., & Hajiboland, R. (2015). Flora, life form and chorological study of soil seed bankin Sisangan box tree (*Buxus hyrcanus* Pojark) Forest Reserve. Iranian Journal of Plant Biology, 7(25), 17-28. (In Persian with English Summary)
29. Hamzei, J., Babaei, M., & Khorramdel, S., (2015). Effect of different irrigation regimes and nitrogen levels on fruit production, oil quality, water use efficiency, and agronomic nitrogen use efficiency of pumpkin (*Cucurbita Pepo* L.). *Agroecology Journal*, *7*(1), 99-108. (In Persian with English Summary) DOI:10.22067/JAG.V7I1.37260
30. Hashemi, M., & Mirdehghan, S.H., (2014). Effect of salicylic acid, methyl jasmonate, and some essential oils on quality and vase-life of carnation (*Dianthus caryophyllus* cv. Cano) cut flower in different temperatures. *Journal of Plant Production Research*, *21*(3), 75-95.
31. Hay, R.K.M., (1995). Harvest index: A review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annals of Applied Biology*, *126*(1), 197-216. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1995.tb05015.x
32. Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M.N., Wani, A.S., Pichtel, J., & Ahmad, A., (2012). Role of proline under changing environments: A review. *Plant signaling and behavior*, 7(11), 1456-1466. DOI: 10.4161/psb.21949
33. He, X., Xu, L., Pan, C., Gong, C., Wang, Y., Liu, X., & Yu, Y., (2020). Drought resistance of *Camellia oleifera* under drought stress: Changes in physiology and growth characteristics. *Plos One*, 15(7), 1-19. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235795
34. Jaleel, C.A., & et al., (2009). Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, *11*, 100-105
35. Jamali, S., & Ansari, H., (2020). Investigation the effect of unconventional water on yield and yield components of quinoa. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *14*(1), 331-343.
36. Javadipour, Z., Balouchi, H., Movahhedi Dehnavi, M., & Yadavi, A., (2021). Physiological responses of bread wheat (*Triticum aestivum*) cultivars to drought stress and exogenous methyl jasmonate. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-16. https://doi.org/10.1007/s00344-021-10525-w
37. Keshtkar, A., Aien, A., Naghavii, H., & Najafi Nezhad, H., (2021). Effect of foliar application of jasmonic acid and

drought stress on yield and some agronomic and physiologic traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(2), 403-414. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22077/escs.2020.2402.1711

38. Khan, W., Prithviraj, B., & Smith, D.L., (2003). Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology*, *160*, 485-492. https://doi.org/10.1078/0176-1617-00865
39. Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Amin Ghafori, A., & Shabahang, J., (2012). Study the germination characteristics of black seed (*Nigella sativa* L.) under drought stress conditions in different salicylic acid levels. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(4), 709-725. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22067/gsc.v10i4.20382
40. Ma, C., Wang, Z.Q., Zhang, L.T., Sun, M.M. & Lin, T.B., (2014). Photosynthetic responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to combined effects of drought and exogenous methyl jasmonate. *Photosynthetica*, 52, 377–385. https://doi.org/10.1007/s11099-014-0041-x
41. Mahabub Alam, M.D., Kamrun, N., Hasanuzzaman, M., & Masayuki, F., (2014). Exogenous jasmonic acid modulates the physiology, antioxidant defense, and glyoxalase systems in imparting drought stress tolerance in different Brassica species. *Plant Biotechnology Reports*, 8, 279-293. DOI: 10.1007/s11816-014-0321-8
42. Mohammadi Azni, M., Moradi, H., Ghasemi, K., & Biparva, P., (2020). Effect of silicon and methyl jasmonate on some morphological traits and photosynthetic parameters in common purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 3(1), 175-186. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22070/HPN.2020.4735.1043
43. Momenpour, A., Bakhshi, D., Imani, A., & Rezaie, H., (2015). Effect of salinity stress on the morphological and physiological characteristics in some selected almond (*Prunus dulcis*) genotypes budded on GF677 rootstock. *Plant Production Technology*, 7(2), 137-152. (In Persian with English Summary)
44. Moradi, F., & Ismail, A.M., (2007). Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and ROS-scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. *Annals of Botany*, 99, 1161-1173. DOI: 10.1093/aob/mcm052
45. Nasiri, M., Meskarbashi, M., Hassibi, P., & Pirdashti, H., (2020). Evaluation and selection of drought tolerant rice genotypes using fluorometric methods. *Journal of Plant Production Research*, 27(3), 1-21. (In Persian with English Summary) DOI:10.22069/JOPP.2020.14475.2296
46. Navarro, L., Dunoyer, P., Jay, F., Arnold, B., Dharmasiri, N., Estelle, M., & Jones, J. D., (2006). A plant miRNA contributes to antibacterial resistance by repressing auxin signaling. *Science*, 312(5772), 436-439. DOI: 10.1126/science.1126088
47. Nogués, S., & Baker, N.R., (2000). Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. *Journal of Experimental Botany*, 51, 1309-1317. DOI: 10.1093/jxb/51.348.1309
48. Rasouli, F., Gholipour, M., Jahanbin, K., & Asghari H., (2018). Effect of jasmonic and salicylic acids on some antioxidants, soluble sugar, and lipid peroxidation in *Echinacea purpurea* L. under field conditions. *Journal of Plant Production Research*, 25(1), 45-61. (In Persian with English Summary)
49. Rezaei Nasab, F., Pazoki, A., & Monem, R., (2016). Effect of Salicylic acid and Jasmonic acid on growth traits and root and shoot ionic interaction of Lavender (*Lavendula officinalis* L.) in salt stress conditions. *Journal of Plant Production Research*, 23(3), 159-166. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22069/JOPP.2017.9570.1905
50. Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., Latifi, H., Farzaneh Belgerdi, M. R., & Davarpanah, S. J., (2021). Optimization of irrigation and nitrogen levels on yield, water use efficiency, and nitrogen use efficiency of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by using the surface-response methodology. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 19(2), 185-199. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22067/JCESC.2021.68436.1013
51. Saddiq, M.S., Wang, X., Iqbal, S., Hafeez, M.B., Khan, S., Raza, A., Iqbal, J., Maqbool, M.M., Fiaz, S., Qazi, M.A., Bakhsh, A., Jahanzaib, & Gulshan, A. B., (2021). Effect of water stress on grain yield and physiological characters of quinoa genotypes. *Agronomy*, 11, 1934. https://doi.org/10.3390/agronomy11101934
52. Sadeghizadeh, H., Khajoei-Nejad, G., & Ghanbari, J., (2021). Water use efficiency and quantitative and qualitative response of quinoa to different concentrations of salicylic acid application under deficit irrigation conditions. *Irrigation and Water Engineering*, 11(3), 345-359. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22125/IWE.2021.128214
53. Sairam, R., & Srivastava, G., (2001). Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.): variations in

hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186, 63-70. https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2001.00461.x

54. Sirhindi, G., Mushtaq, R., Gill, S.S., Sharma, P., Abd-Allah, E.F., & Ahmad, P., (2020). Jasmonic acid and methyl jasmonate modulate growth, photosynthetic activity, and expression of photosystem II subunit genes in *Brassica oleracea* L. *Scientific Reports*, 10(1), 1–14. https://doi.org/10.1038/s41598-020-65309-1
55. Souza, R., Machado, E., Silva, J., Lagôa, A., & Silveira, J., (2004). Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence, and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 51, 45-56. https://doi.org/10.1016/S0098-8472(03)00059-5
56. Tang, Y., Li, X., Zhang, B., Chen, P. X., Liu, R., & Tsao, R., (2015). Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes. *Food Chemistry*, 166, 380-388. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.06.018
57. Tayyab, N., Naz, R., Yasmin, H., Nosheen, A., Keyani, R., Sajjad, M., & Roberts, T. H., (2020). Combined seed and foliar pre-treatments with exogenous methyl jasmonate and salicylic acid mitigate drought-induced stress in maize. *Plos One*, 15(5), e0232269. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232269
58. Vahabi, N., Emam, Y., & Pirasteh-Anosheh, H., (2017). Improving wheat growth and yield using chlormequat chloride, salicylic acid, and jasmonic acid under water stress. *Iranian Journal Field of Crop Research*, 15(1), 124-135. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22067/GSC.V15I1.47584
59. Venegas-Molina, J., Proietti, S., Pollier, J., Orozco-Freire, W., Ramirez-Villacis, D., & Leon-Reyes, A., (2020). Induced tolerance to abiotic and biotic stresses of broccoli and Arabidopsis after treatment with elicitor molecules. *Scientific Reports*, 10(1), 1-17. https://doi.org/10.1038/s41598-020-67074-7
60. Videiros, S.M., Curti, R.N., Dyner, L.M., Binaghi, M.J., Peterson, G., Bertero, H.D., & Pallaro, A.N., (2015). Diversity and interrelationships in nutritional traits in cultivated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Northwest Argentina. *Journal of Cereal Science*, 62, 87-93. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.01.001
61. Wang, D., Pajerowska-Mukhtar, K., Culler, A. H., & Dong, X., (2007). Salicylic acid inhibits pathogen growth in plants through repression of the auxin signaling pathway. *Current Biology*, 17(20), 1784-1790. DOI: 10.1016/j.cub.2007.09.025
62. Yun-Xia, G., Li-Jun, Z., Feng-hai, L., Zhi-bin, C., Che, W., Yun-cong, Y., Zhen-hai, H., Jie, Z., & Zhen-sheng, S., (2010). Relationship between jasmonic acid accumulation and senescence in drought -stress. *African Journal of Agriculture Research*, 5, 1978-1983. https://doi.org/10.5897/AJAR.9000585
63. Zarringol, M., (2018). A review on regulation of autophagy by ROS (Reactive Oxygen Species). *Razi Journal of Medical Sciences*, 24(164), 93-105. (In Persian with English Summary)
64. Zhao, G.Q., Ma, B.L., & Ren, C.Z., (2007). Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. *Journal of Crop Science*, 41, 123-131. https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0371
65. Zou, C., Chen, A., Xiao, L., Muller, H. M., Ache, P., Haberer, G., & Zhang, H., (2017). A high-quality genome assembly of quinoa provides insights into the molecular basis of salt bladder-based salinity tolerance and the exceptional nutritional value. *Cell Research*, 27(11), 1327-1340. https://doi.org/10.1038/cr.2017.124

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

Research Article
Vol. 15, No. 4, 2024, p. 699-721

Response of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) to Plant Nutrition Systems in the Soil under Foliar Spraying by Amino Fish AMI-16, Fulvic Acid, and Microfertilizer

Bahman Shojaei Kalajahi[1], Vahid Sarabi[2]* and Kambiz Azizpour[3]

1- M.Sc. Student in Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.
2- Associate Professor in the Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.
3- Assistant Professor in the Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.
(*- Corresponding author Email: Sarabi20@azaruniv.ac.ir)

Received: 19-11-2021
Revised: 07-02-2022
Accepted: 13-04-2022
Available Online: 25-01-2021

How to cite this article:
Shojaei Kalajahi, B., Sarabi, V., & Azizpour, K. (2024). Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to plant nutrition systems in the soil under foliar spraying by amino fish AMI-16, fulvic acid, and microfertilizer. *Journal of Agroecology, 15*(4), 699-721. (in Persian with English abstract).
https:// doi.org/10.22067/agry.2022.73721.1081

Introduction

Sunflower is one of the plants that must receive nutrients, particularly nitrogen, and often responds positively to fertilizers. Optimizing fertilizer application in oil crops not only enhances grain yield but also leads to an increased percentage of seed oil. Furthermore, it improves plant resistance to environmental stresses such as drought, salinity, and frost. Additionally, this optimization contributes to enhanced biological activity in the soil, early crop production, decreased concentrations of pollutants like cadmium in seeds, reduced toxicity, and increased efficiency in water consumption. Despite the crop's considerable potential, its cultivation has been confined to relatively poor soils and has suffered from inadequate fertilizer management, marked by unbalanced nutrient consumption, thereby limiting its overall performance. Considering the comparatively low organic matter content in Iranian soils and the environmental repercussions of continuous nitrogen fertilizer use, ensuring optimal nutrition for this crop is crucial. Hence, given the significance and necessity of proper and environmentally sustainable nutrition, this study aimed to explore the impact of various fertilizer types on the yield and components of sunflower. The investigation also incorporated diverse nutritional supplements through foliar spraying to identify the most effective fertilizer in combination with a nutritional supplement.

Materials and Methods

A field study was conducted to determine the effects of different nutrition systems and foliar spraying on sunflower yield and its components. The experiment was conducted as a split plot based on a randomized complete block design with three replicates on a research farm at “Khaje Marjan” village under the supervision of the Sophian Agricultural Jihad organization in 2019. Factors were soil fertilization (nitrogen fertilizer of urea, vermicompost, and mycorrhizae) as the main plot and foliar spraying (amino fish AMI-16, fulvic acid, and micro fertilizer) as the subplot. Soil fertilizers were used at the beginning of the growing season, and foliar sprayings were used before flowering and flowering stages. Data were subjected to ANOVA using Minitab ver. 17.0 and

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https:// doi.org/10.22067/agry.2022.73721.1081

SAS ver. 9.2.0 statistical software. The main interaction effects of experimental factors were analysed as a PROC GLM by slicing interactions in SAS software. The assumption of the variance analysis was tested by ensuring that the residuals were random, homogeneous, and with a normal distribution about a mean of zero using residual plots and the Anderson-Darling test. Means were separated using Fisher's least significant difference (FLSD) test at a 0.01 significance threshold.

Results and Discussion

Results indicated that the highest yield and its components were obtained using mycorrhizae and vermicompost compared to nitrogen fertilizer. In addition, the highest yield and its components were obtained when micro fertilizer and amino fish AMI-16 were used as foliar spraying treatments compared to fulvic acid and control. Interaction effects showed that the highest yield and seed oil yield are related to micro fertilizer foliar spraying + vermicompost and micro fertilizer + mycorrhizae by 4292.90 and 2035.95 kg ha^{-1}, respectively. However, there was no significant difference between these treatments and the application of amino fish AMI-16 as foliar spraying with mycorrhizae and vermicompost. Biological and organic fertilizers provide the required nutrients of crops during the growth period, and stresses are not imposed on nutrients and water deficit. Although fulvic acid is one of the effective sprays in increasing the yield and its components and increasing the performance of this industrial crop compared to control, its effect was less than micro fertilizer and amino fish AMI-16.

Conclusion

Therefore, it can be concluded that foliar spraying of micro fertilizer or amino fish AMI-16 with mycorrhizae and vermicompost can provide water and nutrients required for sunflower plants in the sensitive growth stages especially seed filling periods and result in increased yield and its components. The results of this study can be used in the extensive cultures of this industrial crop to achieve the highest grain and oil yield.

Keywords: Biofertilizer, Nutritional supplements, Oil crops, Organic fertilizer, Yield and its components.

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ۷۲۱-٦۹۹

پاسخ آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) به سیستم‌های تغذیه گیاهی در خاک تحت محلول-پاشی با کود مایع آمینوفیش AMI 16، اسید فولویک و میکروکامل

بهمن شجاعی کلجاهی[۱]، وحید سرابی[۲]* و کامبیز عزیزپور[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۴

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر نوع تغذیه گیاهی در خاک تحت محلول‌پاشی با ترکیبات متنوع بر عملکرد و اجزای آن در آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحت نظارت جهاد کشاورزی صوفیان واقع در روستای خواجه مرجان در سال ۱۳۹۸ به اجرا در آمد. فاکتورهای آزمایش شامل کاربرد انواع سیستم‌های تغذیه‌ای (نیتروژنه از منبع اوره، ورمی‌کمپوست و مایکوریزا) و محلول‌پاشی (کود مایع آمینوفیش AMI 16، اسید فولویک و کود میکرو کامل) بودند که سیستم‌های تغذیه‌ای در ابتدای کشت و تیمارهای محلول‌پاشی در دو مرحله قبل از گل‌دهی و گل‌دهی به‌کار برده شدند. نتایج نشان داد که با کاربرد مایکوریزا و ورمی‌کمپوست بیشترین مقادیر عملکرد و اجزای آن در آفتابگردان در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی نیتروژنه به‌دست می‌آید. همچنین، بیشترین مقادیر عملکرد و اجزای آن در بوته‌های آفتابگردان با کاربرد کود میکرو کامل و کود مایع آمینوفیش AMI 16 در مقایسه با کاربرد اسید فولویک و تیمار عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد. اثرات متقابل سیستم‌های تغذیه‌ای و محلول‌پاشی نیز نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از کاربرد کود میکرو کامل به همراه ورمی‌کمپوست و بیشترین عملکرد روغن دانه از کاربرد کود میکرو کامل به همراه مایکوریزا به‌ترتیب با ۴۲۹۲/۹۰ و ۲۰۳۵/۹۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست می‌آید. با این حال، بین این تیمارها و تیمارهای کاربردی کود مایع آمینوفیش AMI 16 به همراه مایکوریزا و ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج کلی این تحقیق نشان داد که محلول‌پاشی با کود میکرو کامل یا کود مایع آمینوفیش AMI 16 به همراه مایکوریزا و ورمی‌کمپوست می‌تواند با تأمین عناصر غذایی و آب مورد نیاز بوته‌های آفتابگردان در مراحل حسّاس رشدی و با تداوم طول دوره‌های رشد رویشی و زایشی (خصوصاً دوره پر شدن دانه ها) منجر به افزایش عملکرد و اجزای آن در آفتابگردان شود.

واژه‌های کلیدی: دانه‌های روغنی، عملکرد و اجزای آن، کود آلی، کود زیستی، مکمل‌های تغذیه‌ای

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، ایران.
۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Sarabi20@azaruniv.ac.ir)

https:// doi.org/10.22067/agry.2022.73721.1081

مقدمه

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) از جمله محصولاتی است که عمدتاً به‌صورت آجیلی و بعضاً در برخی صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در بین ایرانیان و برخی از کشورهای جهان جایگاه ویژه‌ای دارد. این گیاه دانه روغنی به‌دلیل بالا بودن ارزش غذایی و فقدان فاکتورهای ضد تغذیه‌ای در روغن آن، برای تغذیه بشر مفید است (Sosulski, 1979). آفتابگردان یکی از گیاهان پر نیاز به عناصر غذایی بوده و اغلب نسبت به مصرف کودهای شیمیایی پاسخ مثبت نشان می‌دهد (Ailievi et al., 1993). مصرف بهینه کود در گیاهان دانه روغنی ضمن افزایش عملکرد دانه موجب افزایش درصد روغن دانه، افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، شوری و سرمازدگی، بهبود فعالیت‌های زیستی در خاک، زودرسی محصول، کاهش غلظت آلاینده‌هایی نظیر کادمیم در دانه، کاهش سمّیت بُر و افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد (Malakouti & Sepehr, 2003). در کشور ایران علی‌رغم وجود پتانسیل خوب تولید این محصول، کشت آن فقط به خاک‌های نسبتاً فقیر اختصاص یافته که به همراه مدیریت ضعیف کودی (مصرف نامتعادل) سبب پایین آمدن عملکرد در این محصول گردیده است. با توجه به مقدار نسبتاً کم ماده آلی در خاک‌های زراعی ایران و اثرات زیست‌محیطی مصرف مداوم کودهای نیتروژن‌دار، مصرف ماده آلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Rasouli & Maftoun, 2010). امروزه استفاده از کودهای آلی در تولید محصول گسترش جهانی یافته است و مدیریت بهینه مواد آلی یک جنبه مهم تولید پایدار در سیستم‌های زراعی است. از جمله نقش‌های مهم کودهای آلی می‌توان کمک به تغذیه گیاهان از طریق تأمین عناصر غذایی، افزایش فعالیت‌های زیستی خاک، تشکیل خاکدانه‌های پایدار، افزایش ظرفیت نگهداری آب و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، افزایش خلل و فرج، جلوگیری از فشرده شدن و تخریب خاک را برشمرد که می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشد (Ailievi et al., 1993). ورمی‌کمپوست مخلوط زیستی بسیار فعال از میکروب‌های مفید، آنزیم‌ها، ویتامین‌ها، هورمون‌ها، عناصر غذایی و کپسول‌های کرم خاکی می‌باشد (Bremness, 1999). ورمی‌کمپوست دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و عناصر غذایی نظیر فسفر، نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و منیزیم به شکل‌های قابل جذب و در دسترس برای گیاهان می‌باشد (Atiyeh et al., 2001). افزودن ورمی‌کمپوست به محیط رشد گیاه از یک طرف سبب بهبود رشد گیاه (از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک) و از طرف دیگر، سبب افزایش عملکرد و جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف توسط گیاه (به‌دلیل غنی بودن از عناصر غذایی) می‌شود (Kizilkaya et al., 2012). پیامدهای زیان‌بار اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و نیز توجه به قابلیت‌های ذاتی بسیار جالب توجه و متنوع موجودات خاکزی به‌ویژه ریزجانداران موجب گردیده است که یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین زمینه‌های مورد تحقیق، تلاش برای تولید کودهای زیستی باشد (Bashan et al., 2004). کودهای زیستی در کشاورزی پایدار به‌عنوان جایگزین مؤثر کودهای شیمیایی در افزایش حاصلخیزی خاک و تولید محصولات کشاورزی مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند (Wu et al., 2005). در این میان، قارچ‌های مایکوریزا با بسیاری از گیاهان زراعی و باغی رابطه همزیستی برقرار می‌کنند. این قارچ‌ها از متنوع‌ترین قارچ‌هایی هستند که در تمامی انواع خاک‌ها به رشد و نمو می‌پردازند (Adesemoye & Kloepper, 2009). قارچ مایکوریزای آربوسکولار قادر به افزایش جذب، انتقال و قابلیت دسترسی به عناصر معدنی نظیر فسفر، نیتروژن، مس و روی به گیاه میزبان خود است (Marschner & Dell, 1994). تحقیقات نشان داده‌اند که قارچ مایکوریزا باعث بهبود مقدار نسبی آب گیاه نیز می‌شود (Porcel & Ruzi-Lozano, 2004). همچنین، کاربرد قارچ مایکوریزا جذب و تخصیص عناصر غذایی و آب را بین ساقه و ریشه بهبود بخشیده و موجب افزایش رشد گیاه می‌شود (Clark & Zeto, 2000; Wu & Xia, 2006). گیاهان مایکوریزایی وزن خشک ساقه و عملکرد بیشتری نسبت به گیاهان غیرمایکوریزایی دارند که این افزایش وزن می‌تواند در نتیجه جذب عناصر غذایی مختلف نظیر نیتروژن، کلسیم، پتاسیم، مس و به‌ویژه فسفر توسط شبکه هیف‌های قارچ مایکوریزا باشد (Heidari & Karami, 2013).

کشاورزان برای افزایش عملکرد در واحد سطح یکی از روش‌های کوددهی رایج شامل مصرف خاکی، از طریق آب آبیاری، اختلاط با بذر و محلول‌پاشی را مورد استفاده قرار می‌دهند که محلول‌پاشی برگی یکی از روش‌های سریع در رفع نیازهای

کودی گیاهان است که در این روش در مصرف کود نیز صرفه‌جویی می‌گردد و در اثر آن علاوه‌بر جنبه مثبت اقتصادی، محیط زیست از آلودگی شیمیایی حفظ می‌شود و این امر در راستای تحقق کشاورزی پایدار است (Malakouti, 1996). تغذیه برگی به‌عنوان تأمین‌کننده تکمیلی عناصر کم‌مصرف و پرمصرف، هورمون‌های گیاهی، محرک‌های رشد و سایر عناصر مفید استفاده وسیعی دارد. از سوی دیگر، پاسخ گیاه به کوددهی برگی بستگی به گونه گیاهی، شکل و غلظت کود، دفعات کاربرد کود و مرحله رشدی گیاه دارد (Malakouti et al., 2008). همچنین، در تغذیه گیاهان از طریق برگی، میزان اثربخشی چندین برابر تغذیه خاکی می‌باشد (Malakouti et al., 2008). هنگامی که کودی در خاک استفاده می‌شود، به دلایلی نظیر آبشویی، پیوند با سایر عناصر در خاک و نقش ریزجانداران، ممکن است بخشی یا تمامی آن از دسترس گیاه خارج گردد؛ لذا، محلول‌پاشی برخی کودها می‌تواند باعث عبور آن‌ها از موانع فیزیکی و شیمیایی مختلف گردد (Liu et al., 2008). مطالعات نشان داده‌اند که محلول‌پاشی برخی از عناصر غذایی میکرو روش موفق‌تری برای افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد، زیرا در شرایط عادی مقادیر کمی از عناصر غذایی میکرو مورد استفاده قرار می‌گیرد و این عناصر مستقیماً به خاک اضافه نمی‌شوند (Teixeira et al., 2004). بنابراین، مصرف برگی و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی نظیر آهن، بُر، مس، روی و منگنز در شرایط خاک‌های ایران از مصرف آن‌ها در خاک به‌دلیل رفع سریع کمبود، آسانی اجرای آن، کاهش سمّیت ناشی از تجمع این عناصر در خاک و جلوگیری از تثبیت مفیدتر بوده و می‌تواند در افزایش عملکرد گیاه مؤثر واقع شود (Gooding & Davies, 1992). کاربرد محصولات حاوی اسیدهای آمینه (که دارای منابع سرشاری از نیتروژن، فسفر، پتاسیم، ریز مغذی‌ها و اسیدهای آمینه هستند) به‌منظور بهبود رشد و توسعه ریشه‌ها و نهایتاً تغذیه مطلوب گیاهی و افزایش عملکرد مورد استفاده قرار می‌گیرد که جایگزین مطلوبی برای کودهای شیمیایی می‌باشند. این ترکیبات می‌توانند با افزایش درصد نیتروژن محتوی گیاهی موجب افزایش پروتئین دانه گردند. مطالعات نشان داده‌اند که درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم محتوی دانه نخود (*Cicer arietinum* L.) با محلول‌پاشی اسیدآمینه افزایش معنی‌داری داشته است (Mahmudi & Rustaei, 2012). اسید فولویک نیز موجب افزایش کارایی جذب عناصر غذایی و نفوذپذیری آن‌ها می‌شود. همچنین، این ترکیب موجب افزایش تقسیم سلولی، طویل شدن سلول‌ها و افزایش ظرفیت تولید از طریق افزایش سنتز کلروفیل می‌گردد (Mothaghi, 2015). به‌دلیل وزن مولکولی کم و اندازه کوچک اسید فولویک، این مولکول آمادگی ایجاد کمپلکس با مینرال‌ها، عناصر مختلف و در نتیجه، بالا بردن حلالیت و تحرک عناصر در گیاه و خاک را به همراه دارد. اسید فولویک می‌تواند تعداد زیادی از عناصر از جمله عناصر ریزمغذی و کمیاب را کمپلکس کند، به‌طوری‌که این عناصر بتوانند در شرایطی کاملاً طبیعی توسط ریشه گیاه جذب شده و در نتیجه، منجر به بهبود رشد گیاه گردند (Schnitzer, 1977).

بنابراین، با توجه به اهمیت و ضرورت تغذیه مناسب و سازگار با محیط زیست، هدف از انجام این تحقیق بررسی کاربرد انواع کودهای مصرفی در خاک بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان آجیلی رقم شمشیری بود که همراه با انواع مکمل‌های تغذیه‌ای به‌صورت محلول‌پاشی در جهت تقویت بوته‌های آفتابگردان استفاده شد تا در نهایت، بهترین کود مصرفی به همراه مکمل تغذیه‌ای معرفی شود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی پاسخ آفتابگردان به کاربرد کود شیمیایی نیتروژنه، کود آلی ورمی‌کمپوست و کود زیستی مایکوریزا به همراه محلول‌پاشی با کود مایع آمینوفیش AMI 16، اسید فولویک و کود میکروکامل، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحت نظارت جهاد کشاورزی صوفیان واقع در روستای خواجه‌مرجان با مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی در بهار سال ۱۳۹۸ انجام شد. بذور آفتابگردان از نوع آجیلی و رقم شمشیری محلی بودند که از شهرستان خوی تهیه شدند. پس از تهیه بذور، آزمون جوانه‌زنی در محیط پتری‌دیش و در دستگاه ژرمیناتور (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۸ درجه سانتی‌گراد در شب، رطوبت ۷۰ درصد و با طول مدت روشنایی ۱۴ ساعت با شدت ۱۲۰۰۰ لوکس) انجام و مشخّص گردید که بالای ۹۵ درصد بذور قابلیت جوانه‌زنی دارند. پیش از آماده‌سازی قطعه زمین مورد نظر، با استفاده از الگوی W از عمق ۶۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌گیری شده و درصد عناصر موجود در آن تعیین شد که نتایج مربوط به آزمایش خاک در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک تهیه شده از قطعه زمین مورد نظر از عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متری در سال ۱۳۹۸

Table 1- Physical and chemical analysis of the experimental soil collected from a depth of 0-60 cm in 2019

عمق نمونه برداری Sampling depth (cm)	بافت خاک Soil texture				اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($ds.m^{-1}$)	مواد آلی Organic matter (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)
	نوع بافت Soil type	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)						
0-60	لومی- شنی Loam-sany	22	34	44	8.5	0.78	0.56	0.04	18.5	461.5

آهن Fe ($mg.kg^{-1}$)	منگنز Mn ($mg.kg^{-1}$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}$)	منیزیم Mg ($mg.kg^{-1}$)	کلسیم Ca ($mg.kg^{-1}$)	مس Cu ($mg.kg^{-1}$)	آهک CaO (%)
3.60	4.8	0.44	202.55	478.3	0.84	12.4

تحقیق حاضر در قطعه زمینی به مساحت ۶۸۲ مترمربع انجام شد که در پاییز شخم زده شده و در اواخر زمستان و اوایل بهار پس از دیسک‌زنی، تسطیح و کرت‌بندی شد. قبل از کاشت و به‌منظور کمک به آزادسازی سریعتر عناصر در خاک و کاهش اسیدیته، از کود شیمیایی گوگرد خالص (گوگرد گرانوله از منبع بنتونیت‌دار) به‌میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. قبل از ایجاد ردیف‌های کاشت به صورت جوی- پشته نیز مقادیر کودی در نظر گرفته شده بر اساس نیاز و پتانسیل تولید منطقه محاسبه و به خاک اضافه شدند و با ایجاد ردیف‌های کاشت تا عمق ۶۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شدند. در تیمار کود شیمیایی، کود نیتروژنه از منبع اوره (۴۶ درصد نیتروژن؛ ۱۰۳/۵کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار؛ شرکت پتروشیمی پردیس، تهران، ایران) در چهار نوبت مصرف شد، به‌طوری‌که بخش اول قبل از کاشت به خاک افزوده شد و بخش‌های دوم تا چهارم در مراحل چهار برگی، هشت برگی و قبل از گل‌دهی به خاک اضافه شدند. کود آلی ورمی‌کمپوست از شرکت تک ورمی‌کمپوست آذربایجان تهیه شد که با اسید هیومیک طبیعی و باکتری‌های مفید غنی شده بود. در این تیمار، میزان ورمی‌کمپوست مورد نیاز طرح معادل مقدار کود نیتروژنه توصیه شده در آزمایش خاک منطقه بود که درصد نیتروژن محتوی ورمی‌کمپوست بر مبنای آن محاسبه شده و کل مقدار تهیه شده (به میزان ۸۱۴۹ کیلوگرم در هکتار محتوی ۱۰۳/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص؛ ۱۰۱/۸۶ کیلوگرم در هکتار فسفر؛ ۱۶۷/۸۷ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) در ابتدای فصل به زمین اضافه شد. در تیمار مایکوریزای آرباسکولار (*Glomus mosseae*، *Glomus intraradices*، *Glomus etunicatum*)(شرکت زیست‌فناور پیشتاز واریان) نیز کود شیمیایی نیتروژنه از منبع اوره معادل یک چهارم تیمار کود شیمیایی تهیه و قبل از کاشت به خاک اضافه گردید. بر اساس نظر کارشناس خاکشناسی، حد مطلوب فسفر قابل جذب ۱۵ پی‌پی‌ام و حد مطلوب پتاسیم قابل جذب ۳۰۰ پی‌پی‌ام بود و از اینرو از مصرف کودهای فسفره و پتاسه خودداری گردید.

با پایان عملیات آماده‌سازی زمین، بذور آفتابگردان در اوایل اردیبهشت ماه به‌صورت هیرم‌کاری در محل داغ‌آب ردیف‌ها کاشته شدند، به‌طوری‌که جهت اطمینان از سبز شدن در هر محل کاشت دو تا سه عدد بذر ریخته شده و پس از سبز شدن گیاهچه‌ها و رسیدن آن‌ها به مرحله دو برگی حقیقی، بوته‌های اضافی تنک شدند. تمامی بذور قبل از کاشت به‌مدت ۲۴ ساعت در آب خیسانده شدند. در تیمار مایکوریزا، بذور پس از خیساندن به‌میزان لازم با قارچ مایکوریزا بذرمال شده و در هنگام کاشت نیز به اندازه یک قاشق چای‌خوری به هر چاله کشت، قارچ مایکوریزا اضافه گردید. هر کرت از پنج ردیف به‌طول شش متر تشکیل شده بود؛ به‌طوری‌که فاصله بوته‌ها بر روی ردیف‌ها ۳۵ سانتی‌متر و فاصله آن‌ها در بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. همچنین، در بین کرت‌های اصلی و بین بلوک‌ها نیز دو متر فاصله در نظر گرفته شد. نخستین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی بر اساس نیاز آبی گیاهان تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی با دور آبیاری هر شش روز یک بار انجام شدند. در طول فصل رشدی، آفت یا بیماری خاصی در مزرعه مشاهده نشد.

جدول ۲- نتایج تجزیه کودی مربوط به محتوای کود ورمی‌کمپوست، کود آمینوفیش AMI 16 و کود میکرو کامل مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Nutrient contents of vermicompost, amino fish AMI-16 and micro fertilizers prepared based on analysis of these three fertilizers used in this experiment

ورمی کمپوست Vermicompost	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}$)	کربن آلی Organic C (%)	نسبت کربن به نیتروژن C/N	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($ds.m^{-1}$)
	1.27	1.25	2.06	1114.6	20.38	16.04	5.5-6.8	2.68

کود آمینوفیش AMI 16 Amino fish AMI-16 fertilizer	اسید آمینه آزاد Free amino acid (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P_2O_5 (%)	پتاسیم K_2O (%)	بُر B (%)	مس Cu (%)	آهن Fe (%)	منگنز Mn (%)	مولیبدن Mo (%)	روی Zn (%)
	16	8.4	8	4	0.04	0.05	0.16	0.68	0.004	0.68

کود میکرو کامل Micro fertilizer	مس محلول در آب Water soluble Cu (%)	آهن محلول در آب Water soluble Fe (%)	منگنز محلول در آب Water soluble Mn (%)	روی محلول در آب Water soluble Zn (%)	گوگرد S (%)	اسید سیتریک Citric acid (%)	اسیدیته pH
	1	7.5	6.5	11.5	13.7	14	3-5

مهم‌ترین علف‌های هرز موجود در مزرعه شامل علف شور (*Salsola tragus* L.)، تاج خروس خوابیده (*Amaranthus blitoides* S.Wats) و خرفه (*Portulaca oleracea* L.) به‌صورت دستی و در دو مرحله رشدی ۴ و ۸ برگی حقیقی وجین شدند. محلول‌پاشی با کود مایع آمینوفیش AMI 16 (شرکت گرین مور، جی اند جی اسپانیا) به‌میزان ۳۰۰ تا ۵۰۰ سی‌سی در هر ۱۰۰ لیتر آب، اسید فولویک (شرکت آگرومین، اسپانیا) به‌میزان ۲۵۰ تا ۵۰۰ گرم در هکتار و کود میکروکامل (کاره کمبی؛ شرکت کاره تاریم، ترکیه) به میزان ۰/۴ تا ۰/۵ کیلوگرم در هزار لیتر آب در مراحل قبل از گل‌دهی و گل‌دهی در دو تکرار انجام شدند. کود مایع آمینوفیش AMI 16 محتوی انواع اسیدهای آمینه ضروری برای رشد و نمو گیاه شامل تئانین، اسید آسپارتیک، سرین، پرولین، اسید گلوتامیک، گلیسرین، آلانین، سیستئین، والین، متیونین، ایزولوسین، تیروزین، فنیل آلانین، لیزین، هیستدین و آرژنین بود. محتوای کود ورمی‌کمپوست، کود مایع آمینوفیش AMI 16 و کود میکرو کامل در جدول ۲ آمده است.

پس از رسیدن بوته‌ها به مرحله رشد زایشی و نزدیک به زمان رسیدگی فیزیولوژیک، ۱۰ بوته از ردیف‌های مرکزی هر کرت پس از حذف اثر حاشیه انتخاب و علامت‌گذاری شدند و صفاتی از قبیل ارتفاع، قطر ساقه، قطر طبق و تعداد دانه در طبق اندازه‌گیری شده و در نهایت، پس از زرد شدن پشت طبق‌های آفتابگردان و پرشدن دانه‌ها، عملکرد و اجزای عملکرد محاسبه شدند. بدین منظور، این ۱۰ بوته از سطح ۲/۱ مترمربعی هر کرت برداشت شده و به محیط آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه، بوته‌ها به اجزای آن تقسیم شده و برای رسیدن به وزن ثابت به آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت منتقل شده و سپس توزین شدند. در نهایت، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه آفتابگردان در سطح هکتار و شاخص برداشت محاسبه شدند. وزن هزار دانه نیز با شمارش ۱۰۰۰ عدد از بذور آفتابگردان و توزین آن‌ها در ترازوی دیجیتال با دقت یک دهم به‌دست آمد. استخراج روغن بذور با استفاده از حلال دی اتیل اتر صورت گرفت، به‌طوری‌که از نمونه بذور هر کرت حدود ۲۰ گرم انتخاب و مغز بذور جداسازی گردید. از هر نمونه مقدار دو گرم وزن شده و ناخالصی‌ها جداسازی شدند و سپس داخل هاون چینی خرد گردیده و مقدار یک گرم از آن‌ها به داخل لوله‌های آزمایشی ریخته شدند. حدود ۱۰ میلی‌لیتر از حلال دی اتیل اتر به لوله‌های آزمایشی اضافه شده و محلول آماده‌سازی شده با استفاده از دستگاه ورتکس هم زده شد تا مخلوط یکنواختی به‌دست آید. سپس، محتوی لوله‌های آزمایشی به داخل فالکون‌های ۵۰ میلی‌لیتری انتقال داده شدند. فالکون‌ها به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰ هزار دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. پس از رسوب تفاله‌های بذر در قسمت انتهایی فالکون‌ها، محلول باقی‌مانده در قسمت بالایی فالکون‌ها که شامل

دی اتیل اتر به همراه روغن بذور بود جمع‌آوری شده و محتویات آن به داخل لوله‌های آزمایش دیگری که از قبل وزن شده بود، ریخته شدند. به‌منظور جداسازی حلال از ماده روغنی، محلول‌ها به داخل دستگاه آون با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت منتقل شدند. پس از تبخیر و جداشدن حلال دی اتیل اتر، تنها ماده باقی‌مانده روغن آفتابگردان بود که وزن آن با کسر وزن لوله آزمایش محتوی روغن از لوله آزمایشی که قبلاً وزن شده بود، به‌دست آمد (Zeinali et al., 2018).

تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبات مربوط به آن‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری Minitab نسخه ۱۷ و SAS نسخه ۹/۲ انجام شده و مقایسه میانگین بین تیمارها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) در سطح احتمال یک درصد انجام شد. پیش از تجزیه واریانس، داده‌های آزمایش با استفاده از آزمون عدم معنی‌داری به‌روش آندرسون- دارلینگ آزموده شدند و داده‌هایی که نرمال نبودند، تبدیل داده بر روی آن‌ها انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

سیستم‌های تغذیه‌ای تأثیر قابل ملاحظه‌ای را بر ارتفاع بوته‌های آفتابگردان در سطح احتمال پنج درصد داشتند ($p\leq$۰/۰۵) (جدول ۳)، به‌طوری‌که با کاربرد مایکوریزا افزایش بیشتری در ارتفاع بوته‌های آفتابگردان در مقایسه با ورمی‌کمپوست و کود نیتروژنه به‌دست آمد، ولی بین ورمی‌کمپوست و کود نیتروژنه از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). قارچ‌های مایکوریزا می‌توانند بر رشد ریشه‌های گیاهان و در پی آن بر رشد طولی گیاهان اثرات مثبتی داشته باشند. خلیل و یوسف (Khalil & Yousef, 2014) تأثیر سطوح مختلف کود شیمیایی فسفر و قارچ مایکوریزا را بر خصوصیات رشدی شاهی (*Lepidium sativum* L.) مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که قارچ مایکوریزا همراه با کود فسفره موجب افزایش بیشتری در ارتفاع بوته‌های این گیاه می‌شود. تمامی تیمارهای محلول‌پاشی شامل کود مایع آمینوفیش AMI 16، اسید فولویک و کود میکرو کامل موجب افزایش معنی‌دار و مشابهی در ارتفاع بوته‌های آفتابگردان شدند، به‌طوری‌که این سه تیمار به‌ترتیب به‌میزان ۱۵/۰۱، ۱۱/۱۶ و ۱۸/۱۹ درصد بر ارتفاع بوته‌های آفتابگردان در مقایسه با شاهد افزودند (جدول ۴). بررسی‌ها نشان داده‌اند که اسیدهای آمینه موجب تحریک رشد در گیاهان می‌شوند (Kandil & Eman, 2017)، چرا که این ترکیبات میزان تولید آنزیم‌ها و پروتئین‌های لازم برای رشد در ساقه‌ها را افزایش می‌دهند. آهن، روی و بُر نیز نقش مهمی در میزان تولید آسیمیلات‌ها و انتقال آن‌ها به سایر بخش‌ها بر عهده دارند. بررسی‌ها نشان داده‌اند که آهن در سنتز کلروفیل، سنتز تایلاکوئید و توسعه کلروپلاست نقش مهمی دارد (Bozorgi, 2012). اثرات متقابل سیستم‌های تغذیه‌ای و محلول‌پاشی بر ارتفاع بوته‌های آفتابگردان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، به‌طوری‌که برش‌دهی اثر متقابل محلول‌پاشی برای هر یک از سیستم‌های تغذیه‌ای نشان داد که در تمامی سیستم‌های تغذیه‌ای، بیشترین ارتفاع بوته‌های آفتابگردان از کاربرد کود مایع آمینوفیش AMI 16 و کود میکرو کامل به‌دست می‌آید. وانگ و همکاران (Wang et al., 2019) گزارش نمودند که محلول‌پاشی اسیدهای آمینه موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته‌های لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L. Walp.) می‌شود. تگزیرا و همکاران (Teixeira et al., 2004) نیز اظهار داشتند که روی عنصر ضروری جهت سنتز تریپتوفان به‌عنوان پیش‌ساز ایندول استیک اسید است که می‌تواند رشد گیاهی را افزایش دهد. لذا، کاربرد این عنصر می‌تواند منجر به افزایش رشد طولی ساقه گردد. شاکر و الدوری (Shaker & Al-Doori, 2012) گزارش کردند که کمبود عنصر روی می‌تواند طول میانگره‌ها در آفتابگردان را کاهش دهد. باوجودی‌که بیشترین ارتفاع مربوط به کاربرد مایکوریزا به همراه کود میکرو کامل بود، ولی بین تیمارهای محلول‌پاشی در این تیمار کودی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. تیمار کود نیتروژنه به همراه عدم محلول‌پاشی (شاهد) با ارتفاع ۱۰۰/۲۶ سانتی‌متر کمترین مقدار را در بین تمامی تیمارهای به‌کار برده شده به خود اختصاص داد (جدول‌های ۵ و ۶).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) سیستم‌های تغذیه‌ای و محلول‌پاشی بر صفات مورفولوژیکی و برخی از اجزای عملکرد آفتابگردان

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of morphological characteristics and some of yield components in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under different nutrition systems and foliar spraying

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع Height	قطر ساقه Stem diameter	قطر طبق Capitule diameter	تعداد دانه در طبق Seed number.capitule^{-1}	وزن هزار دانه 1000-kenel weight
بلوک Block	2	87.44	9.62	2.11	6142.2	373.32
سیستم تغذیه‌ای (فاکتور A) Nutrition system (A)	2	1622.90*	47.42**	78.62**	22846.9**	2092.58**
خطای فاکتور A Error A	4	1717.54	4.17	59.01	4768.5	509.59
محلول‌پاشی (فاکتور B) Foliar spraying (B)	3	1269.29**	34.78**	74.83**	39661.4**	3816.28**
فاکتور A × فاکتور B A×B	6	233.45*	5.67*	3.23*	1238.6*	111.25*
خطای کل Total error	18	78.45	2.1	1.35	461.5	46.87
برش‌دهی اثر متقابل محلول‌پاشی برای هر یک از سیستم‌های تغذیه‌ای The slicing for effects of nutrition systems × foliar spraing – mean squares						
ورمی کمپوست Vermicompost	3	287.26*	20.51**	34.85**	13946**	1200.77**
مایکوریزا Mycorrhizae	3	70.46 ^{ns}	1.11 ^{ns}	15.87**	16788**	983.26**
کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer	3	1378.48**	24.49**	30.57**	11405**	1854.74**

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

* and **: show significantly different at α = 0.05 and α = 0.01, respectively, and ns: is not significantly different.

قطر ساقه

تأثیر سیستم‌های تغذیه‌ای بر قطر ساقه در بوته‌های آفتابگردان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۳)، به‌طوری‌که قطر ساقه آفتابگردان در تیمارهای مایکوریزا و ورمی-کمپوست مقدار بیشتری را در مقایسه با کود نیتروژنه نشان دادند (جدول ۴). تحقیقات نشان داده‌اند که با افزایش دسترسی گیاهان به عناصر غذایی موجود در کودهای زیستی، ترشح هورمون‌های رشدی افزایش یافته و در نهایت، با افزایش فتوسنتز، فعالیت کامبیوم‌های ساقه افزایش می‌یابد (Ahmad et al., 2008). تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی نیز بر قطر ساقه در بوته‌های آفتابگردان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۳)، به‌طوری‌که با کاربرد کود مایع آمینوفیش AMI 16 و کود میکرو کامل افزایش معنی‌داری در قطر ساقه‌های این محصول صنعتی مشاهده شد (جدول ۴). اثرات متقابل سیستم‌های تغذیه‌ای و محلول‌پاشی بر قطر ساقه در بوته‌های آفتابگردان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، به‌طوری‌که با کاربرد تیمارهای محلول‌پاشی بر قطر ساقه در بوته‌های آفتابگردان در مقایسه با شاهد عدم محلول‌پاشی افزوده شد. بیشترین قطر ساقه از کاربرد مایکوریزا با محلول‌پاشی کود میکرو کامل (۲۲/۰۵ میلی‌متر) به‌دست آمد. کمترین قطر ساقه در بین تمامی تیمارهای کاربردی نیز مربوط به کاربرد کود نیتروژنه در حالت عدم محلول‌پاشی (۱۳/۸۸ میلی‌متر) بود (جدول‌های ۵ و ۶).

قطر طبق

قطر طبق در بوته‌های آفتابگردان تحت تأثیر سیستم‌های تغذیه-ای در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳)، به‌طوری‌که تیمارهای مایکوریزا و ورمی‌کمپوست به‌ترتیب با ۱۹/۹۰ و ۱۸/۷۵ سانتی‌متر بیشترین قطر طبق را در مقایسه با کود نیتروژنه نشان دادند (جدول ۴). کاویتا و نلسون (Kavitha & Nelson, 2014) نشان

دادند که کاربرد مایکوریزا موجب افزایش معنی‌دار قطر طبق آفتابگردان می‌شود، به‌طوری‌که آن‌ها بیشترین قطر طبق را با کاربرد قارچ‌های *Glomus mosseae*، *G. fasciculatum* و *G. scrobiculata* گزارش کردند. فیاضی و همکاران (Fayazi et al., 2016) بیان داشتند که تیمار ورمی‌کمپوست با ۳۰/۹۰ میلی‌متر بیشترین قطر طبق را در بوته‌های سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) ایجاد کرد که در مقایسه با شاهد قابل ملاحظه بود.

جدول ۴- تأثیر سیستم‌های تغذیه‌ای و محلول‌پاشی روی صفات مورفولوژیکی و برخی از اجزای عملکرد آفتابگردان

Table 4- Sunflower (*Helianthus annuus* L.) morphological characteristics and some of yield components under different nutrition systems and foliar spraying

سیستم‌های تغذیه‌ای Nutrition systems	ارتفاع Height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	قطر طبق Capitule diameter (cm)	تعداد دانه در طبق Seed number.capitule^{-1}	وزن هزار دانه 1000-kernel weight (g)
ورمی کمپوست Vermicompost	136.84	19.76	18.75	483.36	169.57
مایکوریزا Mycorrhizae	152.88	21.33	19.90	500.80	175.75
کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer	130.28	17.39	15.01	418.03	150.42
حداقل تفاوت معنی‌داری (۱٪) LSD (1%)	10.41	1.70	1.36	25.24	8.05
تیمارهای محلول‌پاشی Foliar spraying treatments					
شاهد (عدم محلول‌پاشی) Control	123.77	17.34	14.56	382.62	142.63
کود مایع آمینوفیش AMI 16 Amino fish AMI-16 fertilizer	145.63	20.22	19.69	497.16	168.77
اسید فولویک Fulvic acid	139.32	18.57	16.47	452.27	157.98
کود میکرو کامل Micro fertilizer	151.29	21.85	20.82	537.53	191.62
حداقل تفاوت معنی‌داری (۱٪) LSD (1%)	12.02	1.97	1.58	29.15	9.29

تیمارهای محلول‌پاشی نیز موجب افزایش معنی‌دار قطر طبق در بوته‌های آفتابگردان شدند ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۳)، به‌طوری‌که بیشترین افزایش مربوط به کاربرد کود میکروکامل و کود مایع آمینوفیش AMI 16 (به‌ترتیب با ۲۰/۸۲ و ۱۹/۶۹ سانتی‌متر) بود و این تیمارها به‌میزان ۳۰/۰۷ و ۲۶/۰۵ درصد بر قطر طبق بوته‌های آفتابگردان در مقایسه با شاهد افزودند (جدول ۴). اثرات متقابل سیستم‌های تغذیه‌ای و محلول‌پاشی بر قطر طبق در بوته‌های آفتابگردان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، به‌طوری‌که برش‌دهی اثر متقابل محلول‌پاشی برای هر یک از سیستم‌های تغذیه‌ای نشان داد که با کاربرد تیمارهای محلول‌پاشی (به‌خصوص کود میکرو کامل و کود مایع آمینوفیش AMI 16)، قطر طبق در بوته‌های آفتابگردان در مقایسه با شاهد افزایش می‌یابد. بیشترین قطر طبق با کاربرد ورمی‌کمپوست به همراه محلول‌پاشی با کود میکرو کامل (۲۲/۸۷ سانتی‌متر) به‌دست آمد، ولی بین این تیمار و تیمار کاربرد کود مایع آمینوفیش AMI 16 اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول‌های ۵ و ۶).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برش‌دهی محلول‌پاشی برای هر یک از سیستم‌های تغذیه‌ای بر صفات مورفولوژیکی و برخی از اجزای عملکرد آفتابگردان

Table 5- Analysis of variance (mean of squares) of morphological characteristics and some of yield components in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under physical slicing for foliar spraying at different nutrition systems (a_1, a_2 and a_3) separately

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع Height	قطر ساقه Stem diameter	قطر طبق Capitule diameter	تعداد دانه در طبق Seed number.capitule^{-1}	وزن هزار دانه 1000-kernel weight
ورمی‌کمپوست Vermicompost (a_1)						
بلوک Block	2	815.20	12.12	79.75	174.30	758.35
محلول‌پاشی (فاکتور B) Foliar spraying (Factor B)	3	287.26**	20.51**	34.85**	13945.58**	1200.77**
خطا Error	6	28.08	1.66	1.94	502.78	27.37
مایکوریزا Mycorrhizae (a_2)						
بلوک Block	2	358.02	5.20	14.99	6849.81	374.79
محلول‌پاشی (فاکتور B) Foliar spraying (Factor B)	3	70.46 ns	1.11 ns	15.87**	16787.77**	983.26**
خطا Error	6	89.97	2.23	1.25	486.88	75.44
کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer (a_3)						
بلوک Block	2	2349.30	0.65	25.37	8655.14	259.35
محلول‌پاشی (فاکتور B) Foliar spraying (Factor B)	3	1378.48**	24.49**	30.57**	11405.33**	1854.74
خطا Error	6	117.28	2.41	0.85	394.80	37.79
کل Total	11	–	–	–	–	–

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

* and **: show significantly different at $\alpha = 0.05$ and $\alpha = 0.01$, respectively, and ns: is not significantly different.

تعداد دانه در طبق

تأثیر سیستم‌های تغذیه‌ای بر تعداد دانه در طبق آفتابگردان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، به‌طوری‌که بیشترین تعداد دانه در طبق از کاربرد کودهای مایکوریزا و ورمی‌کمپوست به ترتیب با ۵۰۰/۸۰ و ۴۸۳/۳۶ عدد به‌دست آمد و بین این تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). حیدری و کرمی (Heidari & Karami, 2013) گزارش کردند که سویه مایکوریزایی *G. mosseae* از بیشترین تأثیر بر تعداد دانه در طبق آفتابگردان برخوردار بوده و نسبت به تیمار عدم تلقیح، ۸/۸ درصد موجب افزایش آن شد. غلامی و همکاران (Gholami et al., 2015) نیز نشان دادند که بین تلقیح مایکوریزایی و عدم تلقیح آن تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد دانه در چترهای رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) وجود داشت، به‌طوری‌که تعداد دانه در چترهای این گیاه دارویی در نتیجه تلقیح مایکوریزایی حدود ۱۲/۹ درصد بیشتر از عدم تلقیح بود. تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی نیز بر تعداد دانه در طبق بوته‌های آفتابگردان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۳)، به‌طوری‌که بیشترین تعداد دانه در طبق مربوط به کاربرد کود میکرو کامل با ۵۳۷/۵۳ عدد و کمترین آن مربوط به شاهد با ۳۸۲/۶۲ عدد بود (جدول ۴). رحیمی‌زاده و همکاران (Rahimizadeh et al., 2010) تأثیر کاربرد کودهای آهن و روی را در آفتابگردان مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که کاربرد هر دو کود موجب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در طبق می‌شود. اثرات متقابل سیستم‌های تغذیه‌ای و محلول‌پاشی بر تعداد دانه در طبق بوته‌های آفتابگردان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۳)، به‌طوری‌که برش‌دهی اثر متقابل محلول‌پاشی برای هر یک از سیستم‌های تغذیه‌ای نشان داد که در تمامی تیمارهای کودی به‌کار رفته (به‌استثنای

اسید فولویک در تیمار ورمی‌کمپوست) با اعمال محلول‌پاشی، بر تعداد دانه در طبق بوته‌های آفتابگردان در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی افزوده می‌شود. بیشترین تعداد دانه در طبق در تمامی سیستم‌های تغذیه‌ای از کاربرد کود میکرو کامل به‌دست آمد. پوکی دانه‌های مرکزی طبق در آفتابگردان امری شایع است، چرا که در بخش مرکزی طبق، آوندهای چوب و آبکش ناقص باقی مانده و لذا، آب و آسیمیلات‌ها به این بخش نمی‌رسند که در نتیجه آن از تولید دانه در این بخش از طبق کاسته می‌شود. از سوی دیگر، پر شدن دانه‌ها به میزان آسیمیلات‌های موجود به‌ویژه در مراحل اولیه رشد دانه و نیز به ظرفیت و توانایی آن‌ها جهت ذخیره‌سازی بستگی دارد. بر این اساس، دانه‌های کناری طبق در آفتابگردان از ظرفیت و توان بالاتری در ذخیره‌سازی آسیمیلات‌ها برخوردار هستند. با توجه به زمان پیدایش گل‌ها و بر پایه آسیمیلات‌های موجود و روابط هورمونی، درصد بالایی از پوکی دانه‌ها به‌خصوص در دانه‌های مرکزی مشاهده شده و حتی با حذف دانه‌های کناری امکان پر شدن کامل آن‌ها وجود ندارد (Yarnia & Rahmati, 2007). آهن از جمله ترکیباتی است که می‌تواند این نقص را در آفتابگردان کاهش داده و موجب افزایش تولید دانه گردد (Eichert et al., 2010). ظفر و همکاران (Zafar et al., 2014) نیز افزایش پنج درصدی تعداد کل دانه‌ها در طبق آفتابگردان را تحت تأثیر کاربرد کود روی در مقایسه با شاهد گزارش کردند. به نظر می‌رسد که اسیدهای آمینه نیز نقش مؤثری را در افزایش تعداد دانه‌ها داشته باشند. کسرایی و همکاران (Kasraie et al., 2012) افزایش معنی‌داری را در تعداد دانه ذرت (*Zea mays* L.) با محلول‌پاشی اسیدهای آمینه گزارش نمودند. اسیدهای آمینه علاوه‌بر نقشی که در تأمین آسیمیلات‌ها دارند، از طریق تأثیر بر باروری و لقاح نیز می‌توانند موجب افزایش تعداد دانه تولیدی در گیاهان شوند. اسپولجارویچ و همکاران (Spoljarevic et al., 2011) نشان دادند که کاربرد خارجی اسیدآمینه پرولین موجب افزایش تعداد دانه تولیدی ذرت می‌شود که دلیل این افزایش را به تأثیر این اسید آمینه بر موفقیت لقاح در ذرت مرتبط دانستند. در مقابل، کمترین تعداد دانه در طبق در تمامی سیستم‌های تغذیه‌ای نیز مربوط به تیمار عدم محلول‌پاشی بود (جدول‌های ۵ و ۷).

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه در آفتابگردان تحت تأثیر سیستم‌های تغذیه‌ای در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳)، به‌طوری‌که بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمارهای کودی مایکوریزا و ورمی‌کمپوست به‌ترتیب با ۱۷۵/۷۵ و ۱۶۹/۵۷ گرم بود. کمترین وزن هزار دانه نیز از کاربرد کود نیتروژنه با ۱۵۰/۴۲ گرم به‌دست آمد (جدول ۴). جمشیدی و همکاران (Jamshidi et al., 2009) گزارش کردند که وزن هزار دانه آفتابگردان در تیمار تلقیح با قارچ مایکوریزای *G. mosseae* به میزان ۲۰/۵۲ درصد در مقایسه با تیمار عدم تلقیح با این قارچ زیستی افزایش می‌یابد. همچنین، حیدری و کرمی (Heidari & Karami, 2013) بیان داشتند که سویه مایکوریزایی *G. etunicatum* از بیشترین تأثیر بر وزن هزار دانه آفتابگردان برخوردار بود و نسبت به تیمار بدون تلقیح منجر به افزایش ۶/۳ درصدی شد. وزن هزاردانه در آفتابگردان تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی با کود مایع آمینوفیش AMI 16، اسید فولویک و کود میکرو کامل قرار گرفت ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۳)، به‌طوری‌که بیشترین وزن هزار دانه مربوط به کاربرد کود میکرو کامل (۱۹۱/۶۲ گرم) و کمترین آن نیز مربوط به شاهد بدون کاربرد محلول‌پاشی (۱۴۹/۶۳ گرم) بود (جدول ۴). برش‌دهی اثرات متقابل محلول‌پاشی برای هر یک از سیستم‌های تغذیه‌ای نشان داد که در تمامی تیمارهای کودی با کاربرد کود میکرو کامل و کود مایع آمینوفیش AMI 16، وزن هزار دانه بیشتری در مقایسه با تیمارهای اسید فولویک و عدم محلول‌پاشی به‌دست می‌آید. عوامل تعیین‌کننده مقدار و محتوای وزن هزار دانه، سرعت و طول دوره پر شدن دانه‌ها هستند و بررسی‌ها نشان داده‌اند که اسیدهای آمینه و کودهای میکرو تأثیر مثبتی را بر سرعت و طول دوره پر شدن دانه‌ها دارند (Dromantiene et al., 2013; Huang et al., 2019). در کل، بیشترین وزن هزار دانه در بین سیستم‌های تغذیه‌ای از کاربرد کود میکرو کامل به همراه مایکوریزا و ورمی‌کمپوست (به‌ترتیب با ۱۹۹/۴۷ و ۱۹۶/۷۲ گرم) به‌دست آمد. ابوطالبیان و خدابنده‌لو (Aboutalebian & Khodabandehloo, 2017) بیان داشتند که وزن ۱۰۰ دانه ذرت رقم NS640 تحت تأثیر تیمار استفاده توأم از قارچ مایکوریزا و محلول‌پاشی سولفات روی در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی + کاربرد مایکوریزا به‌میزان ۳۰/۳۰ درصد افزایش یافت. کمترین وزن هزار دانه نیز مربوط به کاربرد سیستم‌های تغذیه‌ای در شرایط عدم محلول‌پاشی بود (جدول‌های ۵ و ۷).

جدول ٦- اثرات متقابل سیستم‌های تغذیه‌ای و محلول‌پاشی روی ارتفاع، قطر ساقه و طبق در آفتابگردان

Table 6- Interaction effects between different nutrition systems and foliar spraying on a height, stem and capitule diameter of sunflower (*Helianthus annuus* L.)

متغیرها Variables	ارتفاع Height (cm)			قطر ساقه Stem diameter (mm)			قطر طبق Capitule diameter (cm)		
سیستم‌های تغذیه‌ای Nutrition systems / محلول‌پاشی‌ها Foliar sprayings	ورمی کمپوست Vermicompost	مایکوریزا Mycorrhizae	کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer	ورمی کمپوست Vermicompost	مایکوریزا Mycorrhizae	کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer	ورمی کمپوست Vermicompost	مایکوریزا Mycorrhize	کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer
شاهد (عدم محلول-پاشی) Control	124.31	146.73	100.26	16.88	20.58	13.88	15.63	16.68	11.36
کود مایع آمینوفیش AMI 16 Amino fish AMI 16 fertilizer	143.77	155.67	137.47	20.66	21.47	18.55	20.20	21.46	17.40
اسید فولویک Fulvic acid	133.89	151.47	132.60	18.58	21.25	16.54	16.29	19.82	13.31
کود میکرو کامل Micro fertilizer	145.41	157.67	150.78	22.93	22.05	20.57	22.87	21.65	17.95
حداقل تفاوت معنی-داری (۱٪) LSD 1%	10.59	18.95	21.64	2.57	2.98	3.10	2.78	2.23	1.85

عملکرد بیولوژیکی

عملکرد بیولوژیکی آفتابگردان تحت تأثیر سیستم‌های تغذیه‌ای در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۸)، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد بیولوژیکی از کاربرد مایکوریزا با ۱۳۴۴۹/۴ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن از کاربرد کود نیتروژنه با ۸۹۶۹/۱ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۹). حق‌شناس و همکاران (Haghshenas et al., 2020) بیان داشتند که در شرایط آبیاری مطلوب، تلقیح بذور گلرنگ زراعی (*Carthamus tinctorius* L.) با قارچ مایکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح عملکرد بیولوژیکی آن را به‌میزان ۳۳ درصد در مقایسه با شاهد افزایش می‌دهد. قارچ‌های مایکوریزا با تولید تنظیم‌کننده‌های رشدی و افزایش فراهمی عناصر غذایی موجب افزایش فتوسنتز و در نتیجه، تولید ماده خشک گیاهی می‌شوند. محلول‌پاشی با کود مایع آمینوفیش AMI 16، اسید فولویک و کود میکرو کامل نیز تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد بیولوژیکی آفتابگردان در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۸)، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد بیولوژیکی از کاربرد کود میکرو کامل با ۱۶۰۸۸/۴ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن از شاهد (عدم محلول‌پاشی) با ۷۵۹۲/۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۹). بررسی‌ها حاکی از نقش مثبت کاربرد کودهای میکرو بر وزن خشک اندام‌های هوایی گیاهان است و در این زمینه آهن و روی نقش مهمی را در فرآیندهای فتوسنتزی گیاهان بر عهده دارند. موسوی و رونقی (Moosavi & Ronaghi, 2011) اظهار داشتند که آهن زیست‌توده اندام‌های هوایی سویا (*Glycine max* L. Merr.) را افزایش می‌دهد. لذا، مشاهده می‌شود که عناصر آهن و روی هر دو می‌توانند میزان فتوسنتز گیاهان را افزایش داده و در نتیجه منجر به افزایش میزان زیست‌توده آن‌ها شوند. اثرات متقابل سیستم‌های تغذیه‌ای و محلول‌پاشی بر عملکرد

بیولوژیکی آفتابگردان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۸)، به‌طوری‌که برش‌دهی اثر متقابل محلول‌پاشی برای هر یک از سیستم‌های تغذیه‌ای نشان داد که در تمامی تیمارهای کودی با کاربرد کود میکرو کامل و کود مایع آمینوفیش AMI 16، عملکرد بیولوژیکی بیشتری در مقایسه با اسید فولویک و تیمار عدم محلول-پاشی به‌دست می‌آید.

جدول ۷- اثرات متقابل سیستم‌های تغذیه‌ای و محلول‌پاشی روی تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه در آفتابگردان

Table 7- Interaction effects between different nutrition systems and foliar spraying on a seed number/capitule and 1000-kernel weight of sunflower (*Helianthus annuus* L.)

متغیرها Variables	تعداد دانه در طبق Seed number.capitule^{-1}			وزن هزار دانه 1000-kernel weight (g)		
	سیستم‌های تغذیه‌ای Nutrition systems					
محلول‌پاشی‌ها Foliar sprayings	ورمی کمپوست Vermicompost	مایکوریزا Mycorrhize	کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer	ورمی کمپوست Vermicompost	مایکوریزا Mycorrhizae	کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer
شاهد (عدم محلول‌پاشی) Control	411.53	396.74	339.60	152.54	157.07	118.29
کود مایع آمینوفیش AMI 16 Amino fish AMI 16 fertilizer	509.05	520.23	462.21	172.33	178.67	155.30
اسید فولویک Fulvic acid	447.02	511.49	398.30	156.69	167.80	149.44
کود میکرو کامل Micro fertilizer	565.85	574.74	472	196.72	199.47	178.67
حداقل تفاوت معنی‌داری (٪۱) LSD 1%	44.80	44.08	39.70	10.45	17.35	12.28

آهن برای تشکیل کلروفیل و در نتیجه، فتوسنتز ضروری است و کمبود آن به‌شدت محتوای تولید آسیمیلات‌ها را کاهش می‌دهد (Pirzad & Shokrani, 2012). آدامز و همکاران (Adams et al., 2000) گزارش کردند که آهن مستقیماً در انتقال الکترون دخالت داشته و برای سنتز کلروفیل لازم و ضروری است. بر اساس گزارش‌های ارائه شده، محلول‌پاشی با عنصر روی محتوای کلروفیل-های a، b و فعالیت فتوسیستم دو را افزایش داده و موجب افزایش تجمع متابولیت‌ها از قبیل ترکیبات قندی، پلی ساکاریدها و پروتئین-های محلول در اندام‌های هوایی گیاهان می‌شود. همچنین، عنصر روی میزان فتوسنتز و دوام سطح برگ را افزایش داده و در پی آن، میزان تولید آسیمیلات‌ها را افزایش می‌دهد (Yousefipour et al., 2018). گلایسین و اسید گلوتامیک از اسیدهای آمینه ضروری در رشد بافت‌های رویشی و سنتز کلروفیل می‌باشند. اسید گلوتامیک از عوامل اسمزی سلول‌های محافظ روزنه نیز محسوب می‌شود که موجب باز شدن آن‌ها می‌گردد که در نتیجه آن، جذب دی اکسید کربن افزایش یافته و در پی آن، فتوسنتز و رشد نیز افزایش می‌یابند (Vijaykumar et al., 2019). واهبا و همکاران (Wahba et al., 2015) تأثیر محلول‌پاشی با اسیدهای آمینه تریپتوفان، تیروزین و اسید گلوتامیک را بر رشد و خصوصیات نوعی گزنه (*Urtica pilulifera* L.) مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که افزایش معنی‌داری در زیست‌توده تر و خشک این گونه گیاهی تحت تأثیر محلول‌پاشی با هر سه اسید آمینه به‌دست می‌آید. در کل، بیشترین عملکرد بیولوژیکی مربوط به کود میکرو کامل به‌خصوص با کاربرد کود زیستی مایکوریزا (۱۸۵۴۳ کیلوگرم در هکتار) بود. کمترین عملکرد بیولوژیکی نیز مربوط به کاربرد کود نیتروژنه در شرایط عدم اعمال محلول‌پاشی (۵۶۱۸/۷ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول‌های ۱۰ و ۱۱).

عملکرد دانه

تأثیر سیستم‌های تغذیه‌ای بر عملکرد دانه آفتابگردان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۸)، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه از کاربرد کودهای مایکوریزا و ورمی‌کمپوست به ترتیب با ۳۱۸۰/۴۹ و ۳۰۶۷/۷۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. کمترین عملکرد دانه نیز مربوط به کاربرد کود نیتروژنه با ۱۹۴۵/۲۸ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۹). سلیمان‌زاده (Soleimanzadeh, 2012) نشان داد که کاربرد کود مایکوریزی موجب افزایش معنی‌دار در عملکرد دانه آفتابگردان به‌میزان ۹/۸ درصد بیشتر از عدم کاربرد آن می‌گردد. آدوول و همکاران (Adewole et al., 2010) نیز افزایش معنی‌داری را در عملکرد دانه آفتابگردان (به‌میزان ۱۹/۱ درصد در مقایسه با شاهد) تحت تأثیر کاربرد مایکوریزا به‌دست آوردند. یاداو و همکاران (Yadav et al., 2017) نیز نتیجه گرفتند که با مصرف ورمی‌کمپوست، عملکرد دانه ذرت به‌دلیل وجود مقادیر بالاتر نیتروژن در دسترس افزایش می‌یابد، زیرا نیتروژن برای تولید پروتئین‌های ساختاری گیاه ضروری است. علاوه‌براین، ورمی‌کمپوست دارای مقادیر زیادی مواد هیومیکی است که این مواد از طریق بهبود دسترسی به عناصر غذایی به‌ویژه آهن و روی و نیز با اثر مستقیم بر متابولیسم گیاهی موجب افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌گردند (Tartoura, 2010). با کاربرد تیمارهای محلول‌پاشی کود مایع آمینوفیش AMI 16، اسید فولویک و کود میکرو کامل نیز افزایش معنی‌داری در عملکرد دانه آفتابگردان در سطح احتمال یک درصد به‌دست آمد (جدول ۸)، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه از کاربرد کود میکرو کامل (۳۷۶۳/۷۷ کیلوگرم در هکتار) و کود مایع آمینوفیش AMI 16 (۳۴۲۳/۴۶ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۹). رحیمی‌زاده و همکاران (Rahimizadeh et al., 2010) تأثیر کاربرد کود آهن در آفتابگردان را مورد مطالعه قرار داده و نتیجه گرفتند که با کاربرد کود حاوی آهن به‌میزان ۱۸ درصد بر عملکرد دانه آفتابگردان افزوده می‌شود. خان و همکاران (Khan et al., 2009) تأثیر کودهای آهن و روی را در آفتابگردان بررسی نموده و مشاهده نمودند که با کاربرد تلفیقی آن‌ها (به‌ترتیب به‌میزان ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه به‌میزان ۱۱/۲ درصد در مقایسه با شاهد افزایش می‌یابد. غفران مقصود و همکاران (Ghofran Maghsud et al., 2014) گزارش نمودند که کاربرد کودهای حاوی آهن و روی در مرحله رشد رویشی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گلرنگ می‌شود، ولی کاربرد آن‌ها در مرحله رشد زایشی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه ندارد. ناگوئیب و همکاران (Naguib et al., 2003) نیز اظهار داشتند که کاربرد اسیدهای آمینه متیونین و فنیل آلانین موجب افزایش معنی‌دار در عملکرد دانه پریوش (*Catharanthus roseus* G. Don) می‌شود.

اثرات متقابل سیستم‌های تغذیه‌ای و محلول‌پاشی بر عملکرد دانه آفتابگردان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۵) (جدول ۸)، به‌طوری‌که برش‌دهی اثر متقابل آن‌ها نشان داد که در تمامی سیستم‌های تغذیه‌ای در صورت اعمال محلول‌پاشی کود مایع آمینوفیش AMI 16 و کود میکرو کامل، عملکرد دانه آفتابگردان در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی و اسید فولویک افزایش می‌یابد. بیشترین عملکرد دانه مربوط به کاربرد مایکوریزا و ورمی‌کمپوست به همراه کود میکرو کامل به‌ترتیب با ۴۲۹۲/۹ و ۴۲۳۴/۴ کیلوگرم در هکتار بود. برومند سویری و همکاران (Bromand Sivieri et al., 2021) گزارش کردند که بیشترین عملکرد تک بوته (۰/۴۵ گرم) سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) به اثر ترکیب تیماری محلول‌پاشی با ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی + مایکوریزا در شرایط عدم اعمال شوری مربوط می‌شود. سیدشریفی و همکاران (Seyyed Sharifi et al., 2017) بیان داشتند که محلول‌پاشی غلظت یک و نیم گرم نانواکسیدآهن در یک لیتر آب به همراه دو گونه قارچ مایکوریزای *G. mosseae* و *G. intraradices* می‌تواند در افزایش عملکرد دانه گندم (*Triticum aestivum* L.) مؤثر باشد. کمترین عملکرد دانه نیز از کاربرد کود نیتروژنه در شرایط عدم محلول‌پاشی با ۱۰۰۵/۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول‌های ۱۰ و ۱۱).

درصد و عملکرد روغن بذر

تأثیر سیستم‌های تغذیه‌ای بر درصد روغن بذر آفتابگردان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۸)، به‌طوری‌که بیشترین درصد روغن بذر از کاربرد مایکوریزا و ورمی‌کمپوست (به‌ترتیب با ۲۶/۸۲ و ۲۵/۰۲ درصد) به‌دست آمد (جدول ۹). سلیمان‌زاده (Soleymanzadeh, 2012) نشان داد که کاربرد مایکوریزا موجب افزایش معنی‌دار درصد روغن در دانه‌های آفتابگردان به‌میزان ۶/۸ درصد در مقایسه با عدم کاربرد آن می‌شود. تیمارهای محلول‌پاشی با کود مایع آمینوفیش AMI 16، اسید فولویک و کود میکرو کامل نیز موجب افزایش معنی‌دار درصد روغن بذر آفتابگردان شدند ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۸)، به‌طوری‌که بیشترین درصد روغن بذر از کاربرد کود میکرو

کامل و آمینوفیش AMI 16 (به‌ترتیب با ۲۸/۹۹ و ۲۶/۲۵ درصد) به‌دست آمد (جدول ۹). ابراهیمیان و همکاران (Ebrahimian et al., 2010) نیز افزایش معنی‌دار درصد روغن در بذور آفتابگردان را با محلول‌پاشی کودهای حاوی آهن و روی گزارش کردند.

عملکرد روغن بذر آفتابگردان تحت تأثیر سیستم‌های تغذیه‌ای در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۸)، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد روغن بذر از کاربرد کود زیستی مایکوریزا با ۱۷۰۰/۳۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. کمترین عملکرد روغن بذر نیز مربوط به کاربرد کود نیتروژنه با ۱۰۱۴/۶۷ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۹). حق‌شناس و همکاران (Haghshenas et al., 2020) گزارش کردند که در شرایط آبیاری مطلوب، تلقیح با قارچ مایکوریزا عملکرد روغن بذر گلرنگ را در حدود ۱۶ درصد در مقایسه با شاهد بدون تلقیح افزایش می‌دهد. همچنین، جمشیدی و همکاران (Jamshidi et al., 2009) بیان داشتند که عملکرد روغن بذر آفتابگردان در تلقیح با قارچ مایکوریزای *G. mosseae* به‌میزان ۱۴/۰۱ درصد در مقایسه با تیمار عدم تلقیح افزایش می‌یابد. محلول‌پاشی با کود مایع آمینوفیش AMI 16، اسید فولویک و کود میکرو کامل نیز موجب افزایش معنی‌دار در عملکرد روغن بذر آفتابگردان در سطح احتمال یک درصد شد (جدول ۸)، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد روغن بذر از کاربرد کودهای میکرو کامل و کود مایع آمینوفیش AMI 16 (به‌ترتیب با ۱۷۷۱/۵۰ و ۱۶۴۶/۹۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۹).

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) محلول‌پاشی در هر یک از سیستم‌های تغذیه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان

Table 8- Analysis of variance (mean of squares) of yield and its components in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under different nutrition systems and foliar spraying

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت HI	روغن بذر Seed oil	عملکرد روغن Oil yield
بلوک Block	2	13185063	68119	212.89	0.23	3197
سیستم تغذیه‌ای (فاکتور A) Nutrition system (A)	2	62148527**	5596910**	47.72 ns	88.98**	1467037**
خطای فاکتور A Error A	4	36028294	471588	596.19	57.93	949573
محلول‌پاشی (فاکتور B) Foliar spraying (B)	3	126437371**	9850746**	38.46 ns	137.12**	1863770**
فاکتور A × فاکتور B A×B	6	3502523*	320766*	13.09 ns	17.88*	33980*
خطای کل Total error	18	978646	115184	17.23	7.40	10781
برش‌دهی اثر متقابل محلول‌پاشی برای هر یک از سیستم‌های تغذیه‌ای						
The slicing for effects of nutrition systems × foliar spraing – mean squares						
ورمی کمپوست Vermicompost	3	62032577**	4210979**	1.43 ns	50.62**	888140**
مایکوریزا Mycorrhizae	3	47120536**	4605502**	55.79 ns	68.67**	610107**
کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer	3	24289305**	1675796**	7.43 ns	53.59*	433482**

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

* and **: show significantly different at α = 0.05 and α = 0.01, respectively, and ns: is not significantly different.

جدول ۹- تأثیر سیستم‌های تغذیه‌ای و محلول‌پاشی روی عملکرد و برخی از اجزای عملکرد آفتابگردان

Table 9- Sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed yield and some of yield components under different nutrition systems and foliar spraying

سیستم‌های تغذیه‌ای Nutrition systems	عملکرد بیولوژیکی Biological yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت HI (%)	روغن بذر Seed oil (%)	عملکرد روغن بذر Oil yield (kg.ha^{-1})
ورمی کمپوست Vermicompost	11903.7	3067.78	27.18	25.02	1476.33
مایکوریزا Mycorrhizae	13449.4	3180.49	23.28	26.82	1700.37
کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer	8969.1	1945.28	25.94	21.47	1014.67
حداقل تفاوت معنی‌داری (۱٪) LSD (1%)	1162.5	398.82	4.88	3.20	122.02
تیمارهای محلول‌پاشی Foliar spraying treatments					
شاهد (عدم محلول‌پاشی) Control	7592.8	1514.84	23.14	20.46	750.44
کود مایع آمینوفیش AMI 16 Amino fish AMI-16 fertilizer	12686.9	3423.46	28.13	26.25	1646.90
اسید فولویک Fulvic acid	9394.8	2222.66	25.67	22.02	1419.65
کود میکرو کامل Micro fertilizer	16088.4	3763.77	24.92	28.99	1771.50
حداقل تفاوت معنی‌داری (۱٪) LSD (1%)	1342.3	460.5	5.63	3.69	140.89

ابراهیمیان و همکاران (Ebrahimian et al., 2010) تأثیر روش‌های مختلف کاربرد کودهای حاوی آهن و روی را بر عملکرد روغن آفتابگردان مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که کاربرد این کودها به‌صورت خاک مصرف و محلول‌پاشی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد روغن آفتابگردان می‌شود. اثرات متقابل سیستم‌های تغذیه‌ای و محلول‌پاشی بر درصد و عملکرد روغن بذر آفتابگردان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۵) (جدول ۸). بیشترین درصد روغن بذر از کاربرد مایکوریزا به همراه محلول‌پاشی با کود میکرو کامل (۳۳/۴۰ درصد) به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری را با بقیه تیمارهای محلول‌پاشی در این تیمار کودی داشت. کمترین درصد روغن بذر نیز مربوط به کاربرد کود نیتروژنه در شرایط عدم محلول‌پاشی (۱۷/۸۹ درصد) بود. تیمار اسید فولویک تأثیر کمتری را در افزایش درصد روغن بذور در بین سایر تیمارهای محلول‌پاشی داشت، به‌طوری‌که در تمامی سیستم‌های تغذیه‌ای در مقایسه با تیمارهای کود مایع آمینوفیش AMI 16 و کود میکرو کامل رقم کمتری را نشان داد. برش‌دهی اثر متقابل محلول‌پاشی برای هر یک از سیستم‌های تغذیه‌ای بر عملکرد روغن بذر آفتابگردان نیز نشان داد که در تمامی تیمارهای کودی با کاربرد محلول‌پاشی در مقایسه با شرایط عدم اعمال آن، بر عملکرد روغن بذر آفتابگردان افزوده می‌شود. بیشترین عملکرد روغن بذر از کاربرد مایکوریزا به همراه محلول‌پاشی با کود میکرو کامل (۲۰۳۵/۹۵ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. البته، بین این تیمار و تیمار کاربردی مایکوریزا به همراه کود مایع آمینوفیش AMI 16 اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در تمامی سیستم‌های تغذیه‌ای، کمترین عملکرد روغن بذر مربوط به تیمار عدم محلول‌پاشی بود که اختلاف معنی‌داری را با سایر تیمارها داشت (جدول‌های ۱۰ و ۱۲).

جدول ۱۰- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برش‌دهی محلول‌پاشی برای هر یک از سیستم‌های تغذیه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان

Table 10- Analysis of variance (mean of squares) of yield and some of yield components in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under physical slicing for foliar spraying at different nutrition systems (a_1, a_2 and a_3) separately

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	درصد روغن بذر Seed oil (%)	عملکرد روغن بذر Oil yield
ورمی کمپوست Vermicompost (a_1)					
بلوک Block	2	39229454.5	382103.6	46.04	1108802.73
محلول‌پاشی (فاکتور B) Foliar spraying (Factor B)	3	62032576.8**	4210979**	50.62*	888140.35**
خطا Error	6	1280014.2	145676.3	8.72	9452.17
مایکوریزا Mycorrhize (a_2)					
بلوک Block	2	216834.2	69883.02	1.51	214088.48
محلول‌پاشی (فاکتور B) Foliar spraying (Factor B)	3	47120535.8**	4605502.22**	68.67**	610107.34**
خطا Error	6	411801.8	46721.76	9.33	12723.95
کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer (a_3)					
بلوک Block	2	45795362.3	559308.85	68.54	579451.92
محلول‌پاشی (فاکتور B) Foliar spraying (Factor B)	3	24289304.5**	1675796**	53.59**	433481.83**
خطا Error	6	1244120.7	153155.45	4.15	10167.24
کل Total	11	-	-	-	-

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

* and **: show significantly different at $\alpha = 0.05$ and $\alpha = 0.01$, respectively, and ns: is not significantly different.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که با کاربرد کودهای آلی و زیستی، عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان بهبود یافته و اعمال محلول‌پاشی می‌تواند عملکرد و اجزای آن را بیش از پیش افزایش دهد. کودهای زیستی و آلی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان زراعی را در طول دوره رشدی در اختیار آن‌ها قرار می‌دهند و تنشی از بابت عناصر غذایی و کمبود آب بر آن‌ها تحمیل نمی‌شود. با کاربرد مایکوریزا و ورمی-کمپوست تمامی عناصر غذایی مورد نیاز بوته‌های آفتابگردان فراهم شده و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و ترکیباتی که فعالیت آنزیم‌های دخیل در آسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی را افزایش می‌دهند، به‌خصوص در مراحل حساس رشدی از قبیل گل‌دهی، دانه‌بندی و پر شدن آن‌ها می‌تواند در این زمینه اثرگذار باشد. این امر نشان می‌دهد که جهت رسیدن به حداکثر ظرفیت تولیدی در آفتابگردان می‌بایست تغذیه کودی این گیاه زراعی پرتوقع از بابت عناصر ماکرو و میکرو به‌ویژه در طی مراحل رشد رویشی و زایشی فراهم گردد تا بتواند حداکثر عملکرد تولیدی را داشته باشد. با وجودی‌که اسید فولویک یکی از محلول‌پاشی‌های مؤثر در افزایش عملکرد گیاهان محسوب می‌شود و عملکرد این گیاه صنعتی را در مقایسه با عدم محلول‌پاشی افزایش داد، ولی تأثیر آن بر عملکرد و اجزای آن در آفتابگردان در مقایسه با کود میکرو کامل و کود مایع آمینوفیش AMI 16 به مراتب کمتر بود. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند در کشت‌های گسترده این گیاه صنعتی جهت دستیابی به بالاترین عملکرد دانه و روغن مورد

استفاده تولیدکنندگان قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری گروه زراعت و اصلاح نباتات و مسئول محترم آزمایشگاه فیزیولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان که در اجرای این تحقیق و ارائه هرچه بهتر کیفیت مقاله کمال همکاری را داشتند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

جدول ۱۱- اثرات متقابل سیستم‌های تغذیه‌ای و محلول‌پاشی روی عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه در آفتابگردان

Table 11- Interaction effects between different nutrition systems and foliar spraying on a biological and seed yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.)

متغیرها Variables	عملکرد بیولوژیکی Biological yield (kg.ha^{-1})			عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})		
سیستم‌های تغذیه‌ای Nutrition systems / محلول‌پاشی‌ها Foliar sprayings	ورمی کمپوست Vermicompost	مایکوریزا Mycorrhizae	کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer	ورمی کمپوست Vermicompost	مایکوریزا Mycorrhizae	کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer
شاهد (عدم محلول‌پاشی) Control	7352	9807.8	5618.7	1738.2	1800.7	1005.6
کود مایع آمینوفیش AMI 16 Amino fish AMI-16 fertilizer	14025.1	14575.5	9460.2	3804.5	4220.3	2245.6
اسید فولویک Fulvic acid	9004.1	10871.3	8308.9	2435.6	2466.5	1765.9
کود میکرو کامل Micro fertilizer	17233.5	18543	12488.6	4292.9	4234.4	2764.1
حداقل تفاوت معنی‌داری (۱٪) LSD 1%	2260.4	1282.1	2228.5	762.6	431.85	781.9

جدول ۱۲- اثرات متقابل سیستم‌های تغذیه‌ای و محلول‌پاشی روی درصد و عملکرد روغن بذر در آفتابگردان

Table 12- Interaction effects between different nutrition systems and foliar spraying on a seed oil percentage and seed oil yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.)

متغیرها Variables	روغن بذر Seed oil (%)			عملکرد روغن بذر Seed oil yield (kg.ha^{-1})		
سیستم‌های تغذیه‌ای Nutrition systems / محلول‌پاشی‌ها Foliar sprayings	ورمی کمپوست Vermicompost	مایکوریزا Mycorrhizae	کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer	ورمی کمپوست Vermicompost	مایکوریزا Mycorrhizae	کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer
شاهد (عدم محلول‌پاشی) Control	19.09	24.41	17.89	694.61	1043.72	512.99
کود مایع آمینوفیش AMI 16 Amino fish AMI-16 fertilizer	28.33	27.06	23.37	1823.34	1946.80	1170.54
اسید فولویک Fulvic acid	25.60	22.40	18.07	1517.40	1775.02	966.53
کود میکرو کامل Micro fertilizer	27.06	33.40	26.53	1869.96	2035.95	1408.61
حداقل تفاوت معنی‌داری (۱٪ LSD 1%	5.90	6.10	4.07	194.24	225.36	201.45

References

1. Aboutalebian, M., & Khodabandehloo, N., (2017). Improving yield and water use efficiency of corn under water deficit conditions by using mycorrhiza and foliar application of zinc sulfate. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *48*(1), 57-70. (In Persian with English Summary) https://doi.org/ 10.22059/IJFCS.2017.125574.653878
2. Adams, M.L., Norvell, W.A., Philpot, W.D., & Peverly, J.H., (2000). Spectral detection of micronutrient deficiency in "Bragg" soybean. *Agronomy Journal*, *92*, 261-268. https://doi.org/10.2134/agronj2000.922261x
3. Adesemoye, A.O., & Kloepper, J.W., (2009). Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *85*(1), 1-12. https://doi.org/10.1007/s00253-009-2196-0
4. Adewole, M.B., Awotoye, O.O., Ohiembor M.O., & Salami A.O., (2010). Influence of mycorrhizal fungi on phytoremediating potential and yield of sunflower in Cd and Pb polluted soils. *The Journal of Agricultural Science*, *55*(1), 17-28. https://doi.org/10.2298/JAS1001017A
5. Ahmad, R., Arshad, M., Zahir, Z.A., Naveed, M., Khalid, M., & Asghar, H.N., (2008). Integrating N-enriched compost with biologically active substances for improving growth and yield of cereals. *Pakistan Journal of Botany*, *40*(1), 283-293.
6. Ailievi, L., Marchesini, A., Salardi, C., Piano, V., & Ferarri, A., (1993). Plant quality and soil residual fertility six years a compost treatment. *Bioresource Technology*, *43*(1), 85-89. https://doi.org/10.1016/0960-8524(93)90088-S
7. Atiyeh, R.M., Edwards, C.A., Subler, S., & Metzger, J.D., (2001). Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: Effects on physiochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology*, *78*(1), 11-20. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00172-3
8. Bashan, Y., Holguin, G., & de-Bashan, L.E., (2004). Azospirillum-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). *Canadian Journal of Microbiology*, *50*(8), 521-577. https://doi.org/10.1139/w04-035
9. Bozorgi, H.R., (2012). Effects of foliar spraying with marine plant *Ascophyllum nodosum* extract and nano iron chelate fertilizer on fruit yield and several attributes of eggplant (*Solanum melongena* L.). *ARPN Journal of Agricultural and Biological Sciences*, *7*(5), 357-362.
10. Bremness, L., (1999). Herbs. Eyewitness Handbook, London, 176 pp.
11. Bromand Sivieri, M., Heydari, M., Gholami, A., & Ghorbani, H., (2021). Effects of biofertilizers and foliar application of iron oxide nanoparticle on grain yield and some physiological characteristics of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *51*(4), 73-83. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.125999.2542
12. Clark, R.B., & Zeto, S.K., (2000). Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *Journal of Plant Nutrition*, *23*(7), 867-902. https://doi.org/10.1080/01904160009382068
13. Dromantiene, R., Pranckietiene, I., Sidlauskas, G., & Pranckietis, V., (2013). Changes in technological properties of common wheat (*Triticum aestivum* L.) grain as influenced by amino acid fertilizers. *Zemdirbyste*, *100*(1), 57-62.
14. Ebrahimian, E., Bybordi, A., & Pasban Eslam, B., (2010). Efficiency of zinc and iron application methods on sunflower. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, *8*(3-4), 783-789.
15. Eichert, T., Peguero-Pina, J.J., Gil-Pelegrin, E., Heredia, A., & Fernandez, V., (2010). Effects of iron chlorosis and iron resupply on leaf xylem architecture, water relations, gas exchange and stomatal performance of field-grown peach (*Prunus persica*). *Physiologia Plantarum*, *138*(1), 48-59. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2009.01295.x
16. Fayazi, H., Abdali Mashhadi, A., Koockekzadeh, A., Papzan, A.H., & Arzanesh, M.H., (2016). The effect of organic and biological fertilizers application on yield and some morphological characteristics in coneflower (*Echinacea purpurea* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *47*(2), 301-314. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22059/IJFCS.2016.58864
17. Ghofran Maghsud, S., Mobasser, H.R., & Fanaei, H.R., (2014). Effect of foliar application and time foliar application microelements (Zn, Fe, Mn) on safflower. *Journal of Novel Applied Sciences*, *3*(4), 396-399.
18. Gholami, A., Akbari, I., & Abbasdokht, H., (2015). Study the effects of bio and organic fertilizers on growth characteristics and yield of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Agroecology*, *7*(2), 215-224. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/JAG.V7I2.35273
19. Gooding, M.J., & Davies, W.P., (1992). Foliar urea fertilization of cereals: A review. *Fertilizer Research*, *32*, 209-222. https://doi.org/10.1007/BF01048783
20. Haghshenas, R., Sharafi, S., & Gholinezhad, E., (2020). Effect of different levels of drought stress and mycorrhiza

on yield of safflower cultivars. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30*(2), 91-109. (In Persian with English Summary) https://doi.org/20.1001.1.24764310.1399.30.2.6.9

21. Heidari, M., & Karami, V., (2013). Effects of water stress and different mycorrhiza species on grain yield, yield components, chlorophyll content and biochemical components of sunflower. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 6*(1), 17-26. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22077/escs.2013.134
22. Huang, M., Zhang, H., Zhao, C., Chen, G., & Zou, Y., (2019). Amino acid content in rice grains is affected by high temperatures during the early grain-filling period. Scientific Reports, 9(2700), 1-7. https://doi.org/10.1038/s41598-019-38883-2
23. Jamshidi, E., Ghalavand, A., Salehi, A., Zare, M.J., & Jamshidi, A.R., (2009). Effect of arbuscular mycorrhizal on yield, yield components, and plant characteristics of sunflower (Helianthus annuus L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Crop Sciences, 11(1), 136-150. (In Persian with English Summary) https://doi.org/20.1001.1.15625540.1388.11.2.4.6
24. Kandil, E.E., & Eman A.O.M., (2017). Response of some wheat cultivars to nano mineral fertilizers and amino acids foliar application. *Alexandria Science Exchange Journal, 38*(1), 53-68.
25. Kasraie, P., Nasri, M., & Khalatbari, M., (2012). The effects of time spraying amino acid and water deficit stress on yield, yield component, and some physiological characteristics of grain corn (TWC647). Annals of Biological Research, 3, 4282-4286.
26. Kavitha, T., & Nelson, R., (2014). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Experimental Biology and Agriculture Sciences, 2*, 226-232.
27. Khalil, S.E., & Yousef R.M.M., (2014). Interaction effects of different soil moisture levels, arbuscular mycorrhizal fungi, and three phosphate levels on: I- growth, yield and photosynthetic activity of garden cress (*Lepidium sativum* L.) plant. International Journal of Advanced Research, 2(6), 723-737.
28. Khan, M.A., Din, J., Nasreen, S., Khan, M.Y., Khan, S.U., & Gurmani, A.R., (2009). Response of sunflower to different levels of zinc and iron under irrigated conditions. *Sarhad Journal of Agriculture, 25*(2), 159-164.
29. Kizilkaya, R., Hepsen Turkay, F.S., Turkmen, C., & Durmus, M., (2012). Vermicompost effects on wheat yield and nutrient contents in soil and plant. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(sup1), 5175-5179. https://doi.org/10.1080/03650340.2012.696777
30. Liu, X.Q., Ko, K.Y., Kim, S.H., & Lee, K.S., (2008). Effect of amino acid fertilization on nitrate assimilation of leafy radish and soil chemical properties in high nitrate soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis, 39*, 269-281. https://doi.org/10.1080/00103620701759301
31. Mahmudi, H., & Rustaei, M., (2012). Investigation on the effects of foliar application of free amino acid on the quality and quantity of chickpea (var. Jam) under dryland condition. Dryland Agricultural Research Institute Publication, Maragheh, Iran, 41 p. (In Persian).
32. Malakouti, M.J., (1996). Sustainable agriculture and yield increase through balanced fertilization. Ministry of Agriculture, Karaj, Iran. 350 p. (In Persian).
33. Malakouti, M.J., & Sepehr, E., (2003). Optimal Feeding of Oilseeds. Khaniran Publication, Tehran, Iran, 452 p. (In Persian).
34. Malakouti, M.J., Keshavarz, P., & Karimian, N., (2008). A Comprehensive Approach Towards Identification of Nutrients Deficiencies and Optimal Fertilization for Sustainable Agriculture. Tarbiat Modarres University Press, Tehran, Iran. 132 p. (In Persian).
35. Marschner, H., & Dell, B., (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil, 159*(1), 89-102. https://doi.org/10.1007/BF00000098
36. Moosavi, A.A., & Ronaghi, A.M., (2011). Influence of foliar and soil applications of iron and manganese on soybean dry matter yield and iron-manganese relationship in a calcareous soil. *Australian Journal of Crop Science, 5*(12), 1550-1556.
37. Mothaghi, D., (2015). Folic acid and its role in agriculture. Datis Agrochemicals R & D Department.
38. Naguib, N.Y., Khalil, M.Y., & El-Sherbeny, S.E. (2003). The influence of indole acetic acid, phenylalanine, and methionine on the growth, amino acid and alkaloid production of periwinkle (*Catharanthus roseus* G. Don) plants. Bulletin Faculty of Agriculture, Cairo University, 54, 217-238.
39. Pirzad, A., & Shokrani, F., (2012). Effects of iron application on growth characters and flower yield of *Calendula officinalis* L. under water stress. *World Applied Science Journal, 18*(9), 1203-1208.

40. Porcel, R., & Ruiz-Lozano, J.M., (2004). Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. Jo*urnal of Experimental Botany, 55*(403), 1743-1750. https://doi.org/10.1093/jxb/erh188
41. Rahimizadeh, M., Kashani, A., Zare Fizabady, A., Madani, H., & Soltani, E., (2010). Effect of micronutrient fertilizers on sunflower growth and yield in drought stress condition. *Crop Production, 3*(1), 57-72. (In Persian with English Summary) https://doi.org/20.1001.1.2008739.1389.3.1.4.9
42. Rasouli, F., & Maftoun, M., (2010). Residual effects of two organic matters with or without nitrogen on growth and chemical composition of wheat and some soil chemical properties. *Journal of Water and Soil, 24*(2), 262-273. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/JSW.V0I0.3243
43. Schnitzer, M., (1977). Recent findings on the characterization of humic substances extracted from soils from widely differing climatic zones Joint FAO/IAEA Div. of Atomic Energy in Food and Agriculture, Symposium on Soil Organic Matter Studies, 6-10 Sep. 1977, Braunschweig, Germany.
44. Seyyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R., & Soltanmoradi, S., (2017). The effects of mycorrhizal fungi and nano zinc oxide on yield, dry matter accumulation, grain-filling rate, and duration in wheat under soil salinity condition. Applied Field Crops Research, 30(2), 31-49. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22092/AJ.2018.109183.1116
45. Shaker, A.T., & Al-Doori, S.A., (2012). Response of some sunflower hybrids to zinc foliar spraying and phosphorus fertilizer levels under sandy soils conditions. *Tikrit Journal of Agricultural Sciences, 12*(4), 174-182.
46. Soleimanzadeh, H., (2012). Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to inoculation with mycorrhiza under different phosphorus levels. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 12*(3), 337-341.
47. Sosulski, F.W., (1979). Food uses of sunflower proteins. *Journal of the American Oil Chemists Society, 56*(3), 438-442. https://doi.org/10.1007/BF02671532
48. Spoljarevic, M., Agic, D., Lisjak, M., Gumze, A., Wilson, I.D., Hancock, J.T., & Teklic, T., (2011). The relationship of proline content and metabolism on the productivity of maize plants. *Plant Signaling and Behavior, 6*(2), 251-257. https://doi.org/ 10.4161/psb.6.2.14336
49. Tartoura, K.A.H., (2010). Alleviation of oxidative-stress induced by drought through application of compost in wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 9*(2), 208-216.
50. Teixeira, I.R., Borem, A., de Andrade Araujo, G.A., & Ferreira Fontes, R.L., (2004). Manganese and zinc leaf application on common bean grown on a "Cerrado" soil. *Scientia Agricola, 61*(1), 77-81. https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000100013
51. Vijaykumar, P., Pandey, N., & Kumar, R.M., (2019). Response of different duration varieties of rice (Oryza sativa) on growth, yield attributes, and yield under varied levels of nutrient application. *Indian Journal of Agronomy, 64*(4), 517-519.
52. Wahba, H.E., Motawe, H.M., & Ibrahim, A.Y., (2015). Growth and chemical composition of *Urtica pilulifera* L. plant as influenced by foliar application of some amino acids. *Journal of Materials and Environmental Science, 6*(2), 499-506.
53. Wang, D., Deng, X., Wang, B., Zhang, N., Zhu, C., Jiao, Z., Li, R., & Shen, Q., (2019). Effects of foliar application of amino acid liquid fertilizers, with or without *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9, on cowpea yield and leaf microbiota. *Plos One, 14*(9), e0222048. https://doi.org/ 10.1371/journal.pone.0222048
54. Wu, Q.S., & Xia, R.X., (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment, and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. Journal of Plant Physiology, 163(4), 417-425. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.04.024
55. Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C., & Wong, M.H., (2005). Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma, 125*(1-2), 155-166. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.003
56. Yadav, H., Fatima, R., Sharma, A., & Mathur, S., (2017). Enhancement of applicability of rock phosphate in alkaline soils by organic compost. *Applied Soil Ecology, 113*, 80-85. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.02.004
57. Yarnia, M., & Rahmati, A., (2007). Evaluation of source and sink relationship in two sunflower hybrids. *New Finding in Agriculture, 1*(2), 111-123. (In Persian with English Summary)

58. Yousefipour, M., Lack, S., & Payandeh, K., (2018). Evaluation effect of combined application of biological and chemical phosphorus fertilizers and micronutrients on seed yield and morpho-physiological traits of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Production Science, 8*(2), 107-118. (In Persian with English Summary)
59. Zafar, S., Nasri, M., Tohidi Moghadam, H.R., & Zahedi, H., (2014). Effect of zinc and sulfur foliar applications on physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under water deficit stress. *International Journal of Biosciences, 5*(12), 87-96.
60. Zeinali, A., Sadeghi Bakhtvari, A.R., & Sarabi, V., (2018). Investigation of nitrogen and sulphur effects on quantitative and qualitative characteristics of castor bean seed (*Ricinus communis* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science, 49*(1), 29-43. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22059/IJFCS.2017.225508.654251

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

Research Article
Vol. 15, No. 4, 2024, p. 723-738

Interaction Effect of Chemical and Bio-Fertilizers and Deficit Irrigation on Yield and Yield Components of Sweet Corn (*Zea mays* L. Var saccharata) and Some Soil Biological Activity Indices

Amir Atlasroody[1], Seyed Abdolreza Kazemeini[2*], Mohammad Jafar Bahrani[2] and Mozhgan Sepehri[3]

1 and 2- M.Sc. Student and Professor, Department of Plant Production and Genetics, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Soil Science and Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.
(*- Corresponding author Email: akazemeini@shirazu.ac.ir)

Received: 27-11-2021
Revised: 31-12-2021
Accepted: 03-01-2022
Available Online: 25-01-2021

How to cite this article:
Atlasroody, A., Kazemeini, S.A., Bahrani, M.J., & Sepehri, M. (2024). Interaction effect of chemical and bio-fertilizers and deficit irrigation on yield and yield components of sweet corn (*Zea mays* L. var saccharata) and Some soil biological activity indices. *Journal of Agroecology, 15*(4), 723-738. (in Persian with English abstract)
https:// doi.org/10.22067/agry.2022.73850.1082

Introduction

Sweet corn (*Zea mays* L. Var saccharata) is an important cereal crop that refers to considerable human nutrition and industrial products of its sugar content, minerals phosphorus, magnesium, iron, zinc, and vitamins in most of the literature. The negative impacts of the long-term application of chemical fertilizers on the soil, environment, and human health in arid and semi-arid regions have increased by the application of biological fertilizers in these areas. Applying biological fertilizer is an environmentally friendly approach to plant growth and production. Bio-fertilizers have been applied in agriculture to reduce the application of chemical fertilizers significantly, and it is used as a strategy for improving crop productivity, sustainability, soil health, and environment-friendly and cost-effective.

Material and Methods

This experiment was carried out as a factorial arranged as randomized complete blocks design with three replications during the 2017 growing season at the School of Agriculture, Shiraz University. The treatments included water regime at two levels (75% and 100% of water requirement) and five nitrogen rates and sources (no fertilizer, nitroxin, 150 kg urea, 150 kg urea + nitroxin, and 300 kg urea). The traits included ear number per plant, row number per ear, grain number per row, canned grain yield, water use efficiency, ear harvest index, urease enzyme activity, and soil microbial respiration. Crude protein was determined by the Kjeldahl method, multiplied by the 6.25 (N × 6.25) conversion factor, and the results were then calculated as a percentage (%), and soluble sugar was measured by pocket model ATAGO refractometer. Moreover, the ear harvest index was determined by the ratio of fresh grain yield (canned yield) per ear yield with husk, and urease enzyme activity and soil microbial respiration were estimated by the modified Kandeler and Gerber and Black et al.'s methods. Furthermore, yield and yield components were measured. Data were analyzed by using SAS 9.2 software, and the means were separated using LSD test at 5% probability level.

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https:// doi.org/10.22067/agry.2022.73850.1082

Results and Discussion

The results showed that application of 150 kg urea + nitroxin significantly increased canned yield and its components, grain protein, grain soluble sugar, urease enzyme activity, and soil microbial respiration, respectively, compared to individual application of nitroxin and or 150 kg urea under water stress levels and there was no significant difference between 150 kg urea + nitroxin treatment and 300 kg urea ha^{-1}. Regular irrigation (100% of water requirement) and combination of 300 kg urea + nitroxin, significantly increased ear number per plant (21.7 and 16.6%), row number per ear (21.4 and 21.4%), grain number per row (19.3 and 11.5%), canned grain yield (41.4 and 30.5%), water use efficiency (45 and 8.4%), ear harvest index (20.3 and 22.1%), urease enzyme activity (40.0 and 68.8%) and soil microbial respiration (12.1 and 1.6%), respectively and there was no significant difference between 150 kg urea + nitroxin and 300 kg urea compared to individual application of nitroxin and 150 kg urea. Therefore, applying nitroxin as a bio-fertilizer combined with 150 kg urea ha^{-1} produced the optimal canned yield and reduced nitrogen use and can be recommended in the arid and semi-arid regions.

Conclusion

According to the results, to improve the soil biological activity and yield and yield components of sweet corn, the combination of N150 and Ni instead of N300 is recommended and further research is also required to investigate the effects of applying Ni in combination with other bio-stimulants on yield and yield components of sweet corn.

Acknowledgments

We would like to thank the School of Agriculture, Shiraz University, for their support, cooperation, and assistance throughout this research.

Keywords: Canned grain yield, Grain protein, Grain sugar, Soil microbial respiration

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ۷۳۸-۷۲۳

تأثیر برهم‌کنش کودهای شیمیایی و زیستی و کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین (*Zea mays* L. Var saccharata) و برخی شاخص‌های فعالیت بیولوژیکی خاک

امیر اطلس‌رودی[۱]، سید عبدالرضا کاظمینی[۲*]، محمدجعفر بحرانی[۲] و مژگان سپهری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۳

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر برهم‌کنش کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی و کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین (*Zea mays* L. Var saccharata) و برخی شاخص‌های فعالیت بیولوژیک خاک، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در سال زراعی ۱۳۹۷- ۱۳۹۶ اجرا شد. فاکتورها شامل سطوح آبیاری (۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و منبع کود نیتروژن (بدون کود، نیتروکسین، ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار، ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار + نیتروکسین و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) بودند. نتایج نشان داد که صفات اندازه‌گیری شده با تغییر آبیاری در سطوح فاکتور کودی ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار تفاوت معنی‌داری نداشت. برهم‌کنش تیمار آبی (۱۰۰ درصد نیاز آبی) و ترکیب ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین، به‌ترتیب تعداد بلال در بوته (۲۱/۷ و ۱۶/۶ درصد)، تعداد ردیف در بوته (۲۱/۴ و ۲۱/۴ درصد)، تعداد دانه در ردیف (۱۹/۳ و ۱۱/۵ درصد)، عملکرد دانه کنسروی (۴۱/۴ و ۳۰/۵ درصد)، شاخص برداشت بلال (۲۰/۳ و ۲۲/۱ درصد)، فعالیت آنزیم اوره‌آز (۴۰/۰ و ۶۸/۸ درصد) و تنفس میکروبی خاک (۱۲/۱ و ۱/۶ درصد) را در مقایسه با کاربرد جداگانه نیتروکسین و۱۵۰ کیلوگرم اوره به‌صورت معنی‌داری افزایش داد و با سطح ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار تفاوت معنی‌داری نداشت. بنابراین، کاربرد کود زیستی نیتروکسین همراه با ترکیب ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار و تیمار آبیاری ۷۵ درصد با حصول عملکرد بهینه به‌عنوان راه حلی مناسب در کاهش مصرف کودهای شیمیایی در این منطقه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، تنفس میکروبی خاک، عملکرد دانه کنسروی، قند محلول دانه

مقدمه

ذرت شیرین (*Zea mays* L. Var saccharata) یکی از رقم‌های ذرت معمولی با درصد قند بالا، به‌عنوان یکی از محبوب‌ترین سبزیجات در بین مردم بسیاری از کشورها، مانند آمریکا، کانادا، فرانسه و استرالیا می‌باشد که در سایر نقاط جهان، به‌ویژه آسیا علاقه به آن روز به روز در حال افزایش است (Hirich et al., 2014). ویژگی شیرین بودن آن به‌دلیل وجود ژن‌هایی است که سنتز نشاسته در آندوسپرم را تغییر می‌دهد و در نهایت، موجب افزایش درصد قند آن می‌شود. رقم ذرت شیرین دانه طلایی KSC 403su تنها رقم تولید درون کشور می‌باشد. این رقم هیبرید سینگل کراس و از رقم‌های اصلاح شده ایرانی است. از ویژگی‌های قابل توجه آن می‌توان به عملکرد مطلوب کمّی و کیفی و نیز درصد (مقدار) بالای علوفه آن اشاره کرد. رقم دانه طلایی از لحاظ میزان قند در گروه استاندارد یا

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران.
۳- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: akazemeini@shirazu.ac.ir)
https:// doi.org/10.22067/agry.2022.73850.1082

طبیعی قرار می‌گیرد (Khamadi et al., 2009).

کمبود آب از عوامل مهم در توسعه سطح زیر کشت و تولید موفقیت‌آمیز ذرت در کشور است. تنش آبی یکی از مشکلات اصلی تولید محصولات کشاورزی در بسیاری از نقاط جهان، به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Meerajipour et al., 2013). مقاومت گیاهان به خشکی را می‌توان به‌صورت عملکرد نسبی ژنوتیپ یا توانایی گیاهان زراعی برای تولید محصول با حداقل آب موجود در دسترس تعریف کرد (Fang & Xiong, 2015). واکنش گیاه به کمبود آب به عوامل بی‌شماری از جمله شدت تنش، طول دوره تنش و همچنین مرحله رشد گیاه بستگی دارد (Jafarikouhini et al., 2020).

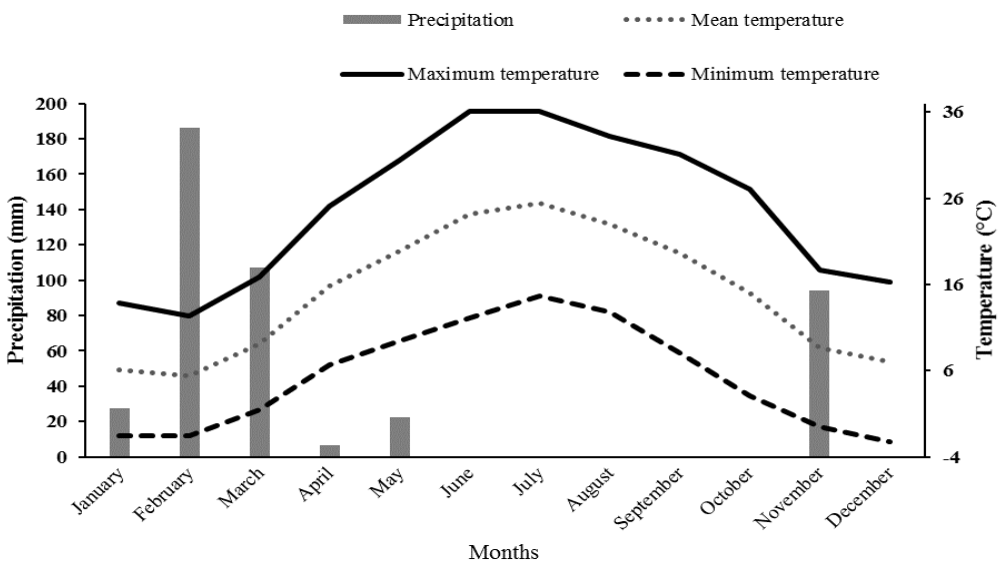
نیتروژن یکی از عناصر غذایی پرمصرف گیاهان است و در اکثر خاک‌ها کمبود آن به چشم می‌خورد و کمتر خاک زراعی وجود دارد که به نیتروژن نیاز نداشته باشد (Chen et al., 2004). بررسی نتایج پژوهش اثر سطوح نیتروژن بر عملکرد ذرت شیرین نشان داد که استفاده ۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن منجر به افزایش عملکرد بلال به‌ترتیب ۹/۱۹ تا ۱۳/۰۳ تن در هکتار شد (Oktem et al., 2010). پژوهشگران دریافتند که حداکثر تجمع نیتروژن در ذرت شیرین با کاربرد ۱۷۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به‌دست آمد (Jafarikouhini et al., 2020). در حال حاضر، منبع اصلی تأمین نیتروژن برای گیاهان زراعی کود اوره می‌باشد و برخلاف افزایش ۱۰ برابری استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار، افزایش عملکرد گیاهان کمتر از سه برابر بوده و کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافته است و به‌لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی حائز اهمیت است (Tilman et al., 2002). کودهای زیستی برخلاف کودهای شیمیایی که موجب آلودگی محیط‌زیست از جمله خاک می‌شوند، به‌عنوان مواد دوست‌دار محیط زیست شناخته می‌شوند (Singh et al., 2008). این کودها حاوی مواد نگهدارنده با جمعیت متراکم یک یا چند ریزجاندار مفید خاکزی و یا فرآورده متابولیک آن‌ها است که ضمن فراهمی عناصر غذایی خاک و بهبود حاصلخیزی خاک می‌تواند از طریق تثبیت نیتروژن، مهار عوامل بیماری‌زا و تولید تنظیم‌کننده‌های رشد، عملکرد گیاه زراعی را در یک سامانه کشاورزی پایدار تحت تأثیر قرار دهد (Sturz & Christie, 2003). کود زیستی نیتروکسین حاوی جنس‌های مؤثر باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن شامل *ازتوباکتر* و *آزوسپریلیوم* بوده که تعداد سلول زنده آن (CFU) 10^{8}–10^{10} در هر گرم ماده حامل از هر یک از جنس‌های باکتری است. در پژوهشی مشخص گردید، بیشترین تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، عملکرد دانه و شاخص برداشت در تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود آلی + ۵۰ درصد کود شیمیایی و بیشترین وزن هزار دانه و ارتفاع بوته در تیمار تلفیقی ۲۵ درصد کود آلی + ۷۵ درصد کود شیمیایی به‌دست آمد (Cheema et al., 2010). بالاترین عملکرد دانه، وزن هزار دانه و طول بلال از کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن به همراه ۱۰۰ درصد کود زیستی نیتروکسین به‌دست آمد (Jerfi et al., 2017). پژوهشگران دریافتند که کاربرد کودهای زیستی (۱۰۰ درصد کود آلی + ۵۰ درصد کود معدنی) باعث افزایش عملکرد دانه و شاخص برداشت ذرت می‌شود (Naeem et al., 2021).

با توجه به مشکلات آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی و زیست محیطی حاصل از استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی نیتروژنه و همچنین کاهش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک، پژوهش زیر با هدف بررسی اثر کاربرد نیتروکسین در ترکیب با کود شیمیایی نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین و برخی شاخص‌های فعالیت بیولوژیک خاک در واکنش به کم آبیاری اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

شرایط اقلیمی و موقعیت محل

به‌منظور ارزیابی اثر منابع کودی نیتروژن و کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین و شاخص‌های بیولوژیک خاک، پژوهشی در سال زراعی ۱۳۹۷- ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (با طول جغرافیایی ۵۲ درجه ۳۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه ۳۵ دقیقه و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا) واقع در ۱۱ کیلومتری شیراز اجرا شد. وضعیت آب و هوایی منطقه در سال زراعی مورد نظر در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- بارندگی ماهانه، میانگین کمینه و بیشینه دمای هوا در طول سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶

Fig. 1- Monthly rainfall, mean minimum and maximum air temperature during the 2017-2018 growing season

طرح آزمایشی

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل دو سطح آبیاری (۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و فاکتور دوم شامل منبع کود نیتروژن در پنج سطح (بدون کود (شاهد)، نیتروکسین، ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار، ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار + نیتروکسین و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) بودند. کود نیتروکسین حاوی باکتری‌های ثبیت‌کننده نیتروژن از جنس *ازتوباکتر* و *آزسپریلیوم* طی دو مرحله یکی در زمان کشت بعد از شستن بذرها با آب مقطر به‌میزان یک لیتر در هکتار و به‌صورت بذرمال و دیگری در مرحله شش برگی به‌میزان چهار لیتر در هکتار به خاک اضافه شد.

عملیات زراعی

پیش از کشت گیاه در زمین اصلی، برای تعیین برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه‌برداری انجام شد (جدول ۱). بر این اساس، خاک مزرعه دارای بافت سیلتی رسی از گروه Fine Mixed, Mesic Typic Calcixerepets بود.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در عمق صفرتا ۳۰ سانتی‌متری

Table 1- Physico-chemical properties of the soil in 0-30 cm depth

فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) P (mg.kg^{-1})	کربن آلی (٪) Organic C (%)	نیتروژن کل (٪) Total N (%)	شن (٪) Sand (%)	سیلت (٪) Silt (%)	رس (٪) Clay (%)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس در متر) EC (dS.m^{-1})
24.5	0.58	0.15	21	39	40	0.97

جهت آماده‌سازی زمین، عملیات شخم توسط گاوآهن برگردان‌دار در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک همراه با دو بار دیسک عمود بر هم انجام شد. ذرت شیرین هیبرید سینگل کراس ۴۰۳ (دانه‌طلایی) از موسسه نهال و بذر کرج تهیه و پیش از کشت با قارچ‌کش ضدعفونی شد. کشت به‌صورت دستی در کرت‌هایی به ابعاد ۴ × ۳ متر با فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در ۱۵ خرداد ماه انجام شد. نیاز آبی گیاه با استفاده از معادله پنمن مانتیث اصلاح شده محاسبه شد (Razzaghi & Sepaskhah, 2012).

معادله (۱)

$$ET_0=0.408(R_n-G)+y\ [[890/(T+273]]U_2(e_a-e_d)/\Delta+\Upsilon(1+0.34U_2)$$

که در آن، ET_0: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm.day^{-1})، Rn:

تابش خالص در سطح پوشش گیاهی، T: متوسط دمای هوا در ارتفاع دو متری از سطح زمین، U_2: سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین، (e_a-e_d): کمبود فشار بخار در ارتفاع دو متری، (KPa): شیب منحنی فشار بخار، γ : ضریب رطوبتی و G: حرکت گرما به درون خاک می‌باشند.

آبیاری به‌صورت قطره‌ای و با استفاده از نوار تیپ انجام شد. اعمال تنش از مرحله چهار برگی آغاز شد. آبیاری در همه کرت‌ها همزمان و با دور آبیاری یکسان انجام شد، ولی میزان آب مصرفی متفاوت بود و میزان آب با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری شد.

صفات مورد بررسی

در مرحله پر شدن دانه هشت بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و پارامترهای تعداد بلال در بوته، تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در هر ردیف اندازه‌گیری شد. در انتهای فصل رشد برای تعیین عملکرد کنسروی بلال در مرحله ابتدای خمیری شدن دانه‌ها (۷۰– ۶۵ درصد رطوبت) از قسمت وسط هر کرت دو مترمربع با رعایت حاشیه، بوته‌ها از نزدیکی سطح زمین برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند و عملکرد دانه قابل کنسرو با رطوبت ۶۵ درصد گزارش گردید. شاخص برداشت بلال ذرت شیرین نیز از تقسیم عملکرد دانه تر (عملکرد دانه کنسروی) بر عملکرد بلال با پوشش ضرب در ۱۰۰ به‌دست آمد. برای محاسبه کارایی مصرف آب مقدار کل آب آبیاری اندازه‌گیری و با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (Ertek et al., 2006).

معادله (۲)

میزان آب مصرفی/ عملکرد بلال با پوشش = کارایی مصرف آب

پروتئین خام بر اساس روش کلدال و با ضرب در ۶/۲۵ بر حسب درصد محاسبه و قند محلول دانه نیز با دستگاه رفراکتومتر بر حسب درجه بریکس به‌دست آمد. همچنین فعالیت آنزیم‌اوره‌آز (Kandeler & Gerber, 1988) و تنفس میکروبی خاک (Black et al., 1965) نیز اندازه‌گیری شد.

واکاوی آماری داده‌ها

داده‌های مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 تجزیه و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. رسم نمودارها و جداول با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش دوگانه سطوح کم آبیاری و منابع کودی نیتروژن بر همه صفات به‌جز قند محلول و پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۲).

تعداد بلال در بوته

تأثیر کم آبیاری و منابع کودی به‌طور معنی‌داری تعداد بلال در بوته را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲) و کاربرد بالاترین سطح کود اوره در مقایسه با تیمارهای کاربرد نیتروکسین و همچنین عدم کاربرد کود اوره باعث افزایش معنی‌دار ۴۶، ۵۳، ۳۰ و ۴۶ درصدی به‌ترتیب در ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی شد و بیشترین تعداد بلال در بوته (۳) در۳۰۰ کیلوگرم اوره به‌دست آمد (جدول ۳). به عبارت دیگر، کاهش مصرف آب تا ۲۵ درصد نیاز آبی نرمال گیاه، تفاوت معنی‌داری در هر سطحی از فاکتور کود ایجاد نمی‌کند. همچنین مشخص شد که بین سطوح۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار و ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین در هر دو سطح آبیاری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد با توجه به نبود تفاوت معنی‌دار بین کاربرد کود ترکیبی اوره و نیتروکسین با سطح بالاتر مصرف کود اوره بر تعداد بلال در بوته، می‌توان میزان مصرف کود اوره را کاهش داد. برای تولید بلال بیشتر باید رشد رویشی با رشد زایشی در گیاه متعادل بوده و بلال‌ها مراحل رشدی خود را طی کرده و رشد کنند. این تعادل زمانی برقرار می‌شود که بین عناصر غذایی لازم برای رشد رویشی (نیتروژن) با عناصر لازم برای رشد زایشی تعادل برقرار باشد (Bashan & Jat & Ahlawat, 2006Levanony, 1990 ;). تلقیح بذرهای ذرت با کود نیتروکسین حاوی باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپریلیوم* سبب افزایش تعداد بلال می‌شود که با نتایج پژوهش ما نیز مطابقت داشت (Cassan & Diaz-Zorita, 2016Nada et al., 1995 ;). پژوهشگران دریافتند که کاربرد کودهای زیستی حاوی *ازتوباکترها* از طریق تثبیت نیتروژن و سنتز مواد بهبوددهنده رشد به جذب بهتر عناصر غذایی فسفر، پتاسیم و روی در گیاه کمک می‌کنند (Romero-Perdomo et al., 2017Bageshwar et al., 2017 ;).

جدول ۲- آنالیز واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین و شاخص‌های فعالیت بیولوژیک خاک

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for grain yield and yield components and soil biological activity indices of sweet corn

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares									
		تعداد بلال در بوته Ear number per plant	تعداد ردیف در بلال Row number per ear	تعداد دانه در ردیف Grain number per row	عملکرد دانه کنسروی Canned grain yield	کارایی مصرف آب Water use efficiency	شاخص برداشت بلال Ear harvest index	پروتئین دانه Grain protein	قند محلول دانه Grain soluble sugar	فعالیت آنزیم اوره‌آز Urease enzyme activity	تنفس میکروبی خاک Soil microbial respiration
تکرار Replication	2	0.162	1.31	46.43	34217.63	0.007	246.36	0.021	58404.25	0.01	1.80
کم آبیاری Deficit irrigation (DI)	1	0.0083^{ns}	7.50**	132.30*	12160.53*	4.614**	264.48^{ns}	0.30^{ns}	1591.40^{ns}	0.5^{ns}	2.24^{ns}
منابع کودی Fertilizer sources (F)	4	1.048**	41.07**	168.78**	1088441.78**	6.797**	373.50**	8.46**	412687.50**	18.82**	8.44^{ns}
کم آبیاری × منابع کودی DI × F	4	**0.029	1.56**	1.21**	2135.61**	0.082*	48.4**	0.23^{ns}	3522.73^{ns}	0.20^{ns}	1.32**
خطای آزمایشی E	18	0.086	0.68	27.76	2459.11	0.022	62.31	0.137	8774.85	0.07	3.30
ضریب تغییرات CV (%)		11.84	4.27	11.80	8.97	3.54	18.06	2.88	4.47	3.74	10.67

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح پنج درصد و یک درصد و غیر معنی‌دار.

*, ** and ns: are significant at 0.05 and 0.01 probability levels and not significant, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر کم آبیاری و منابع کودی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین و شاخص‌های فعالیت بیولوژیک خاک

Table 3- Mean comparison for effects of deficit irrigation and fertilizer sources on yield and yield components of sweet corn and soil biological activity indices

منابع کودی Fertilizer sources	کم آبیاری (٪) Deficit irrigation (%)	تعداد بلال در بوته Ear number per plant	تعداد ردیف در بلال Row number per ear	تعداد دانه در ردیف Grain number per row	عملکرد دانه کنسروی (تن در هکتار) Canned grain yield ($ton.ha^{-1}$)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم در مترمکعب) Water use efficiency ($kg.m^{-3}$)	شاخص برداشت بلال (٪) Ear harvest index (%)	فعالیت آنزیم اوره‌آز (میکروگرم آمونیوم در گرم خاک در ساعت) Urease enzyme activity ($\mu g\ NH_4\text{-}N.g^{-1}\ soil.2h^{-1}$)	تنفس میکروبی خاک (میکرو گرم دی‌اکسیدکربن در گرم خاک در روز) Soil microbial respiration ($\mu g\ CO_2.g^{-1}\ soil.day^{-1}$)
N_0	100	2.1	18.1	41.0	4.21	2.98	38.7	5.43	16.3
	75	1.9	15.9	35.3	3.34	2.36	33.7	5.36	14.9
N_i	100	2.3	18.2	43.0	4.93	3.84	41.3	7.21	16.5
	75	2.1	16.2	38.7	4.67	3.38	37.7	6.73	16.1
N_{150}	100	2.4	18.2	46.0	5.34	5.14	40.7	5.98	18.2
	75	2.3	18.0	42.7	5.29	4.27	37.3	5.77	18.1
$N_{150}+N_i$	100	2.8	22.1	51.3	6.97	5.57	49.7	10.10	18.5
	75	2.8	22.0	47.7	6.75	4.62	47.9	9.55	18.3
N_{300}	100	3.0	22.5	52.3	7.24	5.60	62.9	8.00	17.1
	75	3.0	22.0	48.3	6.52	4.58	47.1	7.90	16.1
$LSD_{(0.05)}$		0.52	1.47	9.27	1.28	0.24	6.20	0.44	3.02

N_0: بدون کود (شاهد)، N_i: نیتروکسین، N_{150}: ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار، $N_{150}+N_i$: ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین و N_{300}: ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار

N_0: no fertilizer (control); N_i: nitroxin; N_{150}: 150 kg urea.ha^{-1}; $N_{150}+N_i$: 150 kg urea.ha^{-1} + nitroxin and N_{300}: 300 kg urea.ha^{-1}.

تعداد ردیف در بلال

مقایسه میانگین تأثیر کم آبیاری و منابع کودی نیتروژن نشان داد، در سطح کاربرد نیتروکسین به‌تنهایی، اعمال کم آبیاری موجب کاهش معنی‌داری تعداد ردیف دانه در بلال در مقایسه با آبیاری نرمال نشان داد و مشابه روند در شاهد (بدون مصرف کود) بود، لکن در سایر سطوح تیمار کودی تفاوت معنی‌داری با تغییر آبیاری مشاهده نشد (جدول ۳)، بیشترین تعداد ردیف دانه (۲۲/۵) در شرایط ۳۰۰ کیلوگرم اوره و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد که با ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین در هر دو سطح آبیاری تفاوت معنی‌داری نشان نداد و نسبت به شاهد (بدون مصرف کود اوره) باعث افزایش معنی‌دار ۲۴ درصدی در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی شد (جدول ۳). اگرچه کاربرد ترکیب نیتروکسین با کود اوره با تأمین پایدار و ثابت عناصر، قابلیت دسترسی به نیتروژن در طول فصل رشد را ممکن می‌سازد و موجب افزایش توانایی گیاه در تولید عملکرد و اجزای عملکرد دانه می‌گردد (Soltani et al., 2013)، ولی با توجه به نتایج این پژوهش و عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین سطوح تیمار کودی و کم آبیاری می‌توان نتیجه گرفت که این پارامتر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است و کمتر تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد که نشان از ثبات نسبی این جزء از عملکرد دارد و با توجه به اینکه این جزء پیش از سایر اجزای عملکرد شکل می‌گیرد، رقابت اندکی برای دریافت مواد پرورده در آن زمان وجود دارد، بر همین اساس نتایج ما با نتایج سایر تحقیقات مطابقت داشت (Zafarian, 2002, Tajik Khaveh et al., 2015 ; Khan, 2002; Sadeghi and Bahrani, 1998; Dunkan, 1994).

تعداد دانه در ردیف

بر اساس نتایج کاربرد جداگانه اوره، نیتروکسین و ترکیبی اوره با نیتروکسین نسبت به شاهد در هر سطحی از کم آبیاری تعداد دانه در ردیف بلال را افزایش داد و بیشترین تعداد دانه در ردیف (۵۲/۳۳) از برهم‌کنش ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سطح ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین نداشت و در مقایسه با شاهد به‌میزان ۲۸ درصد تعداد دانه در ردیف بلال را افزایش معنی‌داری داد (جدول ۳). به‌طور کلی، ذرت نیازمند مقادیر قابل توجه کود نیتروژن برای دست‌یابی به عملکرد و کیفیت بالا است و فرآیند دانه‌بندی در گیاه ذرت به‌وسیله فتوسنتز برگ‌ها، میزان قندها، نشاسته و سیتوکنین تعیین می‌شود و کمبود عناصر غذایی پیش از گرده‌افشانی و نیز در مراحل اولیه گرده‌افشانی موجب کاهش دانه‌بندی در بلال می‌شود (Farid et al., 2017). استفاده از نیتروکسین همراه با کود اوره با قرار دادن عناصر غذایی در اختیار گیاه و کاهش مصرف ۱۰ تا ۲۰ درصدی کود نیتروژن، باعث افزایش اجزای عملکرد اقتصادی خواهد شد (Alizadeh et al., 2008). بر اساس نتایج این مطالعه، کاربرد ترکیبی کود نیتروکسین با اوره در مقایسه با کود اوره به‌تنهایی، نقش مؤثری در افزایش تعداد دانه در ردیف بلال داشت و حتی در مقایسه با تیمار کاربرد دو برابر اوره (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری نشان نداد که خود تأییدکننده نقش مؤثر نیتروکسین در کاهش مصرف اوره می‌باشد. همچنین مشخص شد که *آزوسپریلیوم* موجود در کود زیستی با ترشح هورمون‌های جیبرلین، اکسین و همچنین سیتوکنین نقش مهمی در بهبود رشد و افزایش دانه‌بندی در گیاه داشت (Fukami et al., 2018). نتایج این پژوهش مبنی بر نقش کودزیستی نیتروکسین در افزایش تعداد دانه در ردیف با نتایج سایر محققین مطابقت داشت (Dadiyan et al., 2013; Fathi, 2010).

عملکرد دانه کنسروی

بالاترین عملکرد دانه کنسروی (۷/۲۴ تن بر هکتار) در تیمارهای ۳۰۰ کیلوگرم اوره و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد ترکیب ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین نشان نداد و فقط حدود چهار درصد افزایش داشت و کاربرد ترکیبی ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین نسبت به کاربرد جداگانه ۱۵۰ کیلوگرم اوره و نیتروکسین در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب به‌میزان ۶۶ و ۴۱ درصد عملکرد دانه کنسروی را افزایش داد (جدول ۳). پایین‌ترین عملکرد دانه کنسروی (۳/۳۴ تن بر هکتار) نیز در تیمارهای بدون کود و ۷۵ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. نتایج همبستگی نشان داد که رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه کنسروی و تعداد ردیف در بلال ($r=0/82^{**}$)، تعداد دانه در ردیف ($r=0/57^{**}$)، کارایی مصرف آب ($r=0/80^{**}$)، پروتئین دانه ($r=0/77^{**}$) و قند محلول دانه ($r=0/78^{**}$) وجود داشت (جدول ۴). به نظر می‌رسد، افزایش میزان ماده خشک اندام‌هوایی گیاه که با مصرف بیشتر کود اوره به‌دست

می‌آید، می‌تواند بر افزایش تعداد دانه در ردیف، عملکرد دانه کنسروی و عملکرد دانه در غلات مؤثر باشد (Fageria et al., 2006). تأثیر مثبت نیتروژن بر دوام و شاخص سطح برگ، باعث طولانی‌تر شدن طول دوره تولید ماده‌های پرورده و پر شدن دانه شده و در نتیجه، افزایش تعداد دانه در ردیف و عملکرد دانه کنسروی را به همراه داشته است (Moraditochaee et al., 2011). همچنین پژوهشگران دریافتند که نیتروژن به‌صورت مخلوط (شیمیایی + کود زیستی) عملکرد دانه را بیشتر افزایش می‌دهد. فراهم بودن عناصر غذایی و بهبود خواص بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی خاک به‌دلیل استفاده از کود زیستی باعث می‌شود که گیاه با شرایط بهینه‌ای در زمان پر شدن دانه‌ها مواجه شده و با تولید ماده خشک بیشتر باعث افزایش عملکرد دانه کنسروی شود (Habibi & Majidian, 2014). به عبارت دیگر، افزایش عملکرد دانه کنسروی به‌دست آمده در اثر کاربرد ترکیب ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین در مقایسه با مصرف جداگانه هر کدام نشان‌دهنده نقش تأثیرگذار نیتروکسین در ویژگی‌های ریزوسفر به لحاظ تأمین عناصر غذایی می‌باشد که خود منجر به افزایش و بهبود ویژگی‌های مورفوفیزولوژیک ذرت شیرین شده است و از طرف دیگر، نبود تفاوت معنی‌دار عملکرد دانه کنسروی این تیمار با بالاترین سطح اوره مصرف شده نشان‌دهنده نقش مهم این کود زیستی در امکان کاهش مصرف کود شیمیایی اوره است.

کارایی مصرف آب

بالاترین کارایی مصرف آب در تیمار ۳۰۰ کیلوگرم اوره و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین و ۱۰۰ درصد نیاز آبی نداشت (جدول ۳). همچنین در ۷۵ درصد نیاز آبی کاربرد تیمارهای ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار و ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین، باعث افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب را به‌میزان ۹۴ و ۹۶ درصد در مقایسه با شاهد (بدون کود) شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده به نظر می‌رسد که کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین در مقایسه با کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم اوره با بهبود رشد ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی نقش مهمی در افزایش کارایی مصرف آب و همچنین کاهش مصرف کود اوره دارد. کاربرد کود نیتروژن با نیتروکسین از طریق افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی، عملکرد بلال با پوشش را افزایش داده و منجر به افزایش در کارایی مصرف آب می‌شود (Al-Kaisi & Yin, 2003).

نتایج همبستگی نشان داد که رابطه مثبت و معنی‌داری بین کارایی مصرف آب و شاخص برداشت بلال (r= ۰/۸۲**) وجود داشت (جدول ۴). پس می‌توان نتیجه گرفت که وجود باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپریلیوم* در کود نیتروکسین، از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و همچنین بهبود هورمون‌های گیاهی نقش مهمی در افزایش رشد و عملکرد و نهایتاً کارایی مصرف آب گیاه دارد (Cassan & Diaz-Zorita, 2016).

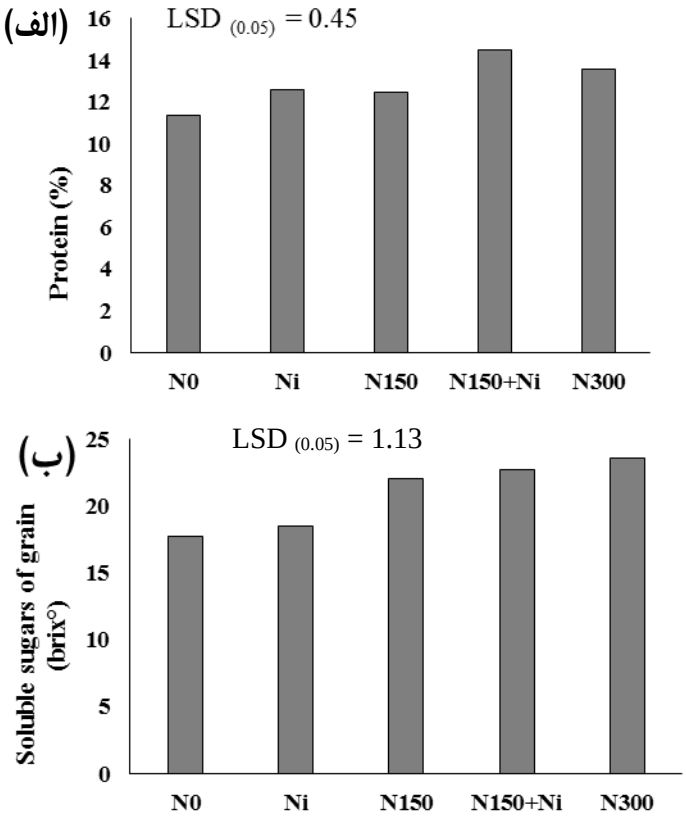
شاخص برداشت بلال

کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم اوره و ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین بر شاخص برداشت بلال تفاوت معنی‌داری نشان نداد و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد به‌ترتیب افزایش ۶۲ و ۴۰ درصدی شاخص برداشت بلال در مقایسه با شاهد (بدون کود) را نشان داد (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت بلال (۶۳ درصد) مربوط به تیمار ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار و آبیاری ۱۰۰ درصد و کمترین مقدار آن (۳۴ درصد) مربوط به شاهد بدون کود و آبیاری ۷۵ درصد بود (جدول ۳). پژوهشگران گزارش کردند که شاخص برداشت بلال ذرت شیرین تحت تأثیر برهم‌کنش آبیاری و نیتروژن قرار گرفت (Fereidooni et al., 2013). سطوح بالای نیتروژن و همچنین ترکیب آن با کود زیستی توانسته با هماهنگی بین عرضه و تقاضای گیاه موجب افزایش شاخص سطح برگ و طول عمر برگ شده و به حفظ تولید مواد فتوسنتزی در زمان پرشدن دانه کمک کرده و موجب افزایش ماده خشک دانه در این دوره و عملکرد دانه شود (Farid et al., 2017). همچنین مطالعه‌ها نشان داد که افزایش تعداد و وزن دانه با کاربرد نیتروکسین حاوی *آزوسپریلیوم*، به‌دلیل بیوسنتز هورمون‌های گیاهی است که این افزایش عملکرد دانه در غلات زمستانه به‌میزان ۱۴ درصد و در غلات تابستانه به‌میزان ۹/۵ درصد محاسبه شد (Cassan & Diaz-Zorita, 2016).

درصد پروتئین و قند محلول دانه

بیشترین درصد پروتئین دانه (۱۴/۵) در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین به‌دست آمد که در مقایسه با تیمار بدون کود با افزایش ۲۷/۶ درصدی همراه بود (شکل ۲- الف). کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم اوره و همچنین ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین به‌ترتیب باعث افزایش ۳۳ و ۲۸ درصدی پروتئین دانه در مقایسه با تیمار بدون کود شد.

همچنین بیشترین قند محلول دانه در تیمار ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌دست آمد که با تیمار ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۲- ب). پژوهشگران گزارش کردند که با افزایش مصرف نیتروژن از صفر تا ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، میزان نیتروژن دانه افزایش یافت (Sadeghi & Bahrani, 2002). از آن جا که نیتروژن جزء اصلی تشکیل‌دهنده پروتئین‌هاست، لکن افزایش نیتروژن با افزایش پروتئین دانه همراه است (Farid et al., 20212017 ;Alijani et al.,). از طرفی دیگر، کاربرد باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن مانند *ازتوباکتر* و *آزوسپریلیوم* نقش مهمی در افزایش قابلیت دسترسی گیاه به نیتروژن دارد که همین امر منجر به افزایش میزان پروتئین در درون گیاه شد (Fateh et al., 2010 ; Ladha et al., 2016; Jafari et al., 2003). همچنین کاربرد باکتری‌های *ازتوباکتر* با افزایش مواد معدنی سازگار نقش مهمی در افزایش قند محلول در گیاه داشت که نشان‌دهنده مطابقت نتایج این پژوهش با سایر تحقیقات است (Bhardwaj et al., 2014).



شکل ۲- اثر منابع کودی نیتروژن بر درصد پروتئین (الف) و قند محلول دانه (ب) ذرت شیرین

Fig .2- Effect of nitrogen fertilizer sources on grain protein content and soluble sugars of sweet corn

N_0: بدون کود (شاهد)، N_i: نیتروکسین، N_{150}: ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار، $N_{150}+N_i$: ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین و N_{300}: ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار

N_0: no fertilizer (control); N_i: nitroxin; N_{150}: 150 kg urea.ha^{-1}; $N_{150}+N_i$: 150 kg urea.ha^{-1} + nitroxin and N_{300}: 300 kg urea.ha^{-1}.

فعالیت آنزیم اوره‌آز

نتایج نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم اوره‌آز (µg NH_4-N.g^{-1} soil.2h^{-1}) در برهم‌کنش منابع کودی نیتروژن و کم آبیاری در تیمارهای ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد (جدول ۳). کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین و اعمال ۷۵ درصد نیاز آبی نسبت به شاهد (بدون کود) باعث افزایش ۸۸ درصدی فعالیت آنزیم اوره‌آز شد (جدول ۳). همچنین کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین در آبیاری ۷۵ درصد اثر بیشتری بر فعالیت آنزیم اوره‌آز داشت و باعث افزایش فعالیت این

آنزیم به‌میزان ۲۸ درصد در مقایسه با ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار شد (جدول ۳). پژوهشگران دریافتند کـه فعالیـت آنـزیم اوره‌آز در حضـور مقادیر گوناگون کود اوره در مقایسه با شاهد افزایش می‌یابد، زیرا اوره ماده ابتدایی لازم و اصلی برای فعالیت کاتالیزوری این آنزیم بـه‌شـمار می‌آید (Wang et al., 2008). در تیمارهایی که کود اوره بـه‌تنهـایی استفاده شد، مقدار نیتروژن قابل دسترس برای آنزیم اوره‌آز کمتر بود و به سخنی دیگر، کاربرد کود زیسـتی نیتروکسـین همـراه بـا کـود اوره فراهمی عناصر غذایی نیتروژن را افزایش داد (Jerfi et al., 2017).

تنفس میکروبی خاک

بیشـترین تـنفس میکروبـی خـاک ($\mu g\ CO_2\ g^{-1}\ soil.day^{-1}$) ۱۸/۵۰ در بـر همکـنش تیمارهـای کـاربرد ۱۵۰ کیلـوگرم اوره + نیتروکسین و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد که با تیمـار ۷۵ درصـد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). همچنین بین تیمارهـای کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین با ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار تفاوت معنی‌داری در هر دو سطح آبیاری وجود نداشت (جدول ۳). بـه طور کلی، کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین در سـطوح آبیـاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی به‌ترتیب باعث افـزایش ۱۴ و ۲۳ درصـدی تنفس میکروبی خاک در مقایسه با شاهد بدون کود شد. پژوهشـگران دریافتند که ویژگی‌های میکروبی خاک انعکاسی از کیفیت بستر خاک است و افزودن کود بیشتر در صورتی مفید خواهد بود که همـراه کـود زیستی به خاک باشد (Meriles et al., 2009). کاربرد کـود زیسـتی نیتروکسین به‌دلیل وجود باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپریلیوم* از طریق تولید اسیدهای آلی و اکسالات و همچنین کاهش پی‌اچ خـاک نقـش مهمی در حلالیت فسفر دارد. اصلاح پی‌اچ خاک توسط این بـاکتری-های عاملی اساسی جهت تکثیر و فعالیـت بیشـتر سـایر ریزجانـداران خاک است. از سوی دیگر، رشد بهتر ریشه گیـاه در شـرایط تلقـیح بـا نیتروکسین نه تنها نقش مؤثری در جذب آب و عناصـر غـذایی بـرای گیـاه دارد، بلکـه بـا افـزایش خلـل و فـرج در خـاک فعالیـت سـایر ریزجانداران موجود در خـاک را نیـز بهبـود مـی‌بخشـد (Fan et al., 2017). همچنین پژوهشگران دریافتند که کاربرد *آزوسپریلیوم* به‌دلیـل تولید اگزوپلی‌ساکاریدها و پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر نقـش مهمـی در به هم پیوستگی ذرات خاک داشته و باعث افـزایش فعالیـت سـایر ریزجانداران و نهایتاً تنفس میکروبـی خـاک مـی‌شـود (Ipek et al., 2017).

جدول ٤- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه کنسروی و صفات اندازه‌گیری شده ذرت شیرین در سطوح کم آبیاری

Table 4- Correlation coefficients between canned grain yield and measured parameters of sweet corn under deficit irrigation levels.

	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
Y							
X_1	0.82^{**}						
X_2	0.57^{**}	0.75^{**}					
X_3	0.80^{**}	0.73^{**}	0.67^{**}				
X_4	0.24^{ns}	0.31^{ns}	0.32^{ns}	0.82^{**}			
X_5	0.77^{**}	0.77^{**}	0.63^{**}	0.78^{**}	0.47^{**}		
X_6	0.78^{**}	0.71^{**}	0.55^{**}	0.83^{**}	0.50^{**}	0.66^{**}	

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح پنج درصد و یک درصد و غیر معنی‌دار.

Y: عملکرد دانه کنسروی، X_1: تعداد ردیف در بلال، X_2: تعداد دانه در ردیف، X_3: کارایی مصرف آب، X_4 : شاخص برداشت بلال، X_5: پروتئین دانه، X_6: قند محلول دانه

*, ** and ns: are significant at 0.05 and 0.01 probability levels and not significant, respectively.

Y: canned grain yield, X_1: row number per ear, X_2: grain number per row, X_3: water use efficiency, X_4: ear harvest index, X_5: grain protein, X_6: grain soluble sugar.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد، اعمال کم آبیاری تا ۷۵ درصـد نیـاز نرمال آبـی گیـاه ضـمن کـاهش مصـرف آب، تفـاوت معنـی‌داری در عملکرد دانه کنسروی و نیز اجزای آن و ویژگی‌های کیفی دانه نشـان

داد. بیشترین عملکرد دانه کنسروی ذرت شیرین ۷/۲۴ و ۶/۹۷ تن بر هکتار در سطح ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار و ترکیب ۱۵۰ کیلوگرم اوره + نیتروکسین بدون تفاوت معنی‌داری به‌دست آمد. کاربرد نیتروکسین به‌تنهایی هر چند نسبت به شاهد، عملکرد ذرت شیرین را افزایش داد، امّا به نظر می‌رسد، قادر به تأمین نیازهای کودی به‌طور کامل نبود و مصرف آن در ترکیب با ۱۵۰ کیلوگرم اوره به‌دلیل تأثیر بر افزایش فعالیت شاخص‌های بیولوژیک خاک، مانند آنزیم اوره‌آز و تنفس میکروبی خاک توانست ریزوسفر و حاصلخیزی خاک را بهبود بخشد و به‌عنوان کود زیستی مکمل ضمن کاهش مصرف نیتروژن منجر به افزایش تولید عملکرد دانه کنسروی مشابه با بالاترین سطح مصرفی اوره شود. لذا به‌طور کلی، کاربرد کود زیستی نیتروکسین در ترکیب با ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار با حصول عملکرد بهینه به عنوان راه حلی مناسب برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی در این منطقه توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز برای حمایت، همکاری و مساعدت در طول انجام این پژوهش تشکر می‌کنیم.

References

1. Alijani, K., Bahrani, M.J., Kazemeini, S.A., & Yasrebi, J., (2021). Soil and sweet corn quality responses to tillage, residue, and nitrogen management in Southern Iran. *International Journal of Plant Production*, *15*(1), 139-150. https://doi.org/10.1007/s42106-020-00127-z
2. Alizadeh, O., Alizadeh, A., & Khastkhodaii, A., (2008). Review the combined application of mycorrhiza and *Azospirillum* with the aim of optimization use of nitrogen and phosphorus fertilizer in corn sustainable agriculture. *The Findings of Modern Agricultural*, *3*(1), 1-12. (In Persian with English Summary)
3. Al-Kaisi, M.M., & Yin, X., (2003). Effects of nitrogen rate, irrigation rate, and plant population on corn yield and water use efficiency. *Agronomy Journal*, *95*(6), 1475-1482. https://doi.org/10.2134/agronj2003.1475
4. Bageshwar, U.K., Srivastava, M., Pardha-Saradhi, P., Paul, S., Gothandapani, S., Jaat, R.S., Shankar, P., Yadav, R., Biswas, D.R., Kumar, P.A., Padaria, J.C., Mandal, P.K., Annapurna, K., & Das, H.K., (2017). An environmentally friendly engineered *Azotobacter* strain that replaces a substantial amount of urea fertilizer while sustaining the same wheat yield. *Applied and Environmental Microbiology*, *83*, e00590-17. https://doi.org/10.1128/AEM.00590-17
5. Bashan, Y., & Levanony, H., (1990). Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. *Canadian Journal of Microbiology*, *36*(9), 591-608.
6. Bhardwaj, D., Ansari, M.W., Sahoo, R.K., & Tuteja, N., (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance, and crop productivity. *Microbial Cell Factories*, *13*, 66. https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-66
7. Black, C.A., Evans, D.D., & Dinauer, R.C., (1965). Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, USA.
8. Cassan, F., & Diaz-Zorita, M., (2016). *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. *Soil Biology and Biochemistry*, *103*, 117-130. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.020
9. Cheema, M.A., Farhad, W., Saleem, M.F., Khan, H.Z., Vahid, M.A., Rasul, F., & Hammad, H.M., (2010). Nitrogen management strategies for sustainable maize production. *Journal of Crop and Environment*, *1*(1), 49-52.
10. Chen, X., Zhou, J., Wang, X., Blackmer, A.M., & Zhang, F., (2004). Optimal rates of nitrogen fertilization for a winter wheat-corn cropping system in Northern China. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *35*(3-4), 583-597. https://doi.org/10.1081/CSS-120029734
11. Dadiyan, A., Khaghaniorcid, S., & Changizi, M., (2013). The effect of nitroxin and different levels of nitrogen application on yield and yield components of maize (Hybrid Maximas) in Markazi province. *New Finding in Agriculture*, *7*(2), 211-225. (In Persian with English Summary)
12. Duncan, W.G., (1984). A theory to explain the relationship between corn population and grain yield. *Crop Science*, *24*(6), 1141-1145.
13. Ertek, A., Şensoy, S., Gedik I., & Küçükyumuk, C., (2006). Irrigation scheduling based on pan evaporation values

for cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under field conditions. *Agricultural Water Management, 81*, 159-172. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.03.008

14. Fageria, N.K., Baligar, V.C., & Clark, R., (2006). Physiology of Crop Production. CRC Press, UK.
15. Fan, X., Zhang, S., Mo, X., Li, Y., Fu, Y., & Liu, Z., (2017). Effects of plant growth-promoting rhizobacteria and N source on plant growth and N and P uptake by tomato grown on calcareous soils. *Pedosphere, 27*(6), 1027-1036. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60379-5
16. Fang, Y., & Xiong, L., (2015). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences, 72*(4), 673-689. https://doi.org/10.1007/s00018-014-1767-0
17. Farid, N., Siadat, S.A., Ghalamboran, M.R., & Moradi Telavat, M.R., (2017). Effect of coated urea fertilizer on yield and yield components of sweet corn under deficit irrigation. *Journal of Crop Production and Processing, 7*(3), 115-128. (In Persian with English Summary)
18. Fateh, E., Chaychi, M.R., Sharifi-Ashurabad, E., Mazaheri D., & Ashraf-Jafari, A., (2010). Effects of chemical and organic fertilizers on some silage chemical properties of globe artichoke (*Cynara scolymus*). *Plant Production, 33*(1), 15-31.
19. Fathi, A. (2010). Effect of biologic fertilizer on morphophysiological traits of corn under Darrehshar condition. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Brojerd, Iran. (In Persian with English Summary)
20. Fereidooni, M.J., Farajee, H., & Owliaei, H.R., (2013). Effect of treated urban sewage and nitrogen on yield and grain quality of sweet corn and some soil characteristics in Yasouj region. *Water and Soil Science, 23*(3), 43-56. (In Persian with English Summary)
21. Fukami, J., Cerezini, P., & Hungria, M., (2018). *Azospirillum*: Benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express, 8*, 1-12.
22. Habibi, S., & Majidian, M., (2014). Effect of different levels of nitrogen fertilizer and vermi-compost on yield and quality of sweet corn (*Zea mays*). *Journal of Crop Production and Processing, 4*(11), 15-26. (In Persian with English Summary)
23. Hirich, A., Ragab, R., Choukr-Allah, R., & Rami, A., (2014). The effect of deficit irrigation with treated wastewater on sweet corn: Experimental and modeling study using SALTMED model. *Irrigation Science, 32*(3), 205-219. https://doi.org/10.1007/s00271-013-0422-0
24. İpek, M., Aras, S., Arıkan, Ş., Eşitken, A., Pırlak, L., Dönmez, M.F., & Turan, M., (2017). Rootplant growth promoting rhizobacteria inoculations increase ferric chelate reductase (FC-R) activity and Fe nutrition in pear under calcareous soil conditions. *Scientia Horticulturae, 219*, 144-151. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.02.043
25. Jafari, A.A., Connolly, V., Frolich, A., & Walsh, E.K., (2003). A note on estimation of quality in perennial ryegrass by near infrared spectroscopy. *Irish Journal of Agricultural and Food Research, 42*, 293-299.
26. Jafarikouhini, N., Kazemeini, S.A., & Sinclair, T.R., (2020). Sweet corn nitrogen accumulation, leaf photosynthesis rate, and radiation use efficiency under variable nitrogen fertility and irrigation. *Field Crops Research, 257*, 107913. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107913
27. Jat, R.S., & Ahlawat, I.P.S., (2006). Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize sequence. *Journal of Sustainable Agriculture, 28*, 41-54. https://doi.org/10.1300/J064v28n01_05
28. Jerfi, A., Alavi Fazel, M., & Modhaj, A., (2017). Investigation the effect of different levels of nitrogen and nitroxin fertilizer on yield, growth and physiological indices of maize hybrids (*Zea mays* L.). *Crop Physiology Journal, 8*(32), 121-138. (In Persian with English Summary)
29. Kandeler, E., & Gerber, H., (1988). Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biology and Fertility of Soils, 6*(1), 68-72.
30. Khamadi, F., Mesgarbashi, M., Hosaibi, P., Enaiat, N., & Farzaneh, M., (2015). The effect of crop residue and nitrogen fertilizer levels on soil biological properties and nitrogen indices and redistribution of dry matter in wheat (*Triticum aestivum*). *Applied Field Crops Research, 28*(4), 149-157. https://doi.org/10.22092/AJ.2016.106752
31. Khan, N., Qasim, M., Ahmed, F., Naz, F., & Khan, R., (2002). Effect of sowing dates on yield of maize under

agroclimatic condition of Kaghan valley. *Asian Journal of Plant Sciences*, *1*(2), 140-147.

32. Ladha, J.K., Tirol-Padre, A., Reddy, C.K., Cassman, K.G., Verma, S., Powlson, D.S., Kessel, C.V., Richter, D.B., Chakraborty, D., & Pathak, H., (2016). Global nitrogen budgets in cereals: A 50-year assessment for maize, rice, and wheat production systems. *Scientific Reports*, *6*, 19355. https://doi.org/10.1038/srep19355
33. Meerajipour, M., Dehnavi, M.M., Dehdari, A., Farajee, H., & Meerajipour, M., (2013). Effect of drought stress on some physiological characteristics of four spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in Yasouj. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *5*(2), 125-134. (In Persian with English Summary)
34. Meriles, J.M., Gil, S.V., Conforto, C., Figoni, G., Lovera, E., March, G.J., & Guzman, C.A., (2009). Soil microbial communities under different soybean cropping systems: Characterization of microbial population dynamics, soil microbial activity, microbial biomass, and fatty acid profiles. *Soil and Tillage Research*, *103*(2), 271-281. https://doi.org/10.1016/j.still.2008.10.008
35. Moraditochaee, M., Bozorgi, H.R., & Halajisani, N., (2011). Effects of vermicompost application and nitrogen fertilizer rates on fruit yield and several attributes of eggplant (*Solanum melongena* L.) in Iran. *World Applied Sciences Journal*, *15*(2), 174-178.
36. Nada, S.S., Swain, K.C., Panda, S.C., Mohanty, A.K., & Alim, M.A., (1995). Effect of nitrogen and biofertilizers in fodder rainfed upland condition of oriza. *Current Agriculture Research*, *8*, 45-47.
37. Naeem, U., ul Haq, I., Afzaal, M., Qazi, A., Yasar, A., Bari Tabinda, A., Mahfooz, Y., Naz, A.U., & Awan, H., (2021). Investigating the effect of *Aspergillus niger* inoculated press mud (biofertilizer) on the potential of enhancing maize (*Zea mays* L.) yield, potassium use efficiency, and potassium agronomic efficiency. *Cereal Research Communications*, 1-14.
38. Oktem, A., Oktem, A.G., & Emeklierc, H.Y., (2010). Effect of nitrogen on yield and some quality parameters of sweet corn. *Soil Science and Plant Analysis*, *41*, 832-847. https://doi.org/10.1080/00103621003592358
39. Rahmani, A., Nasrolah Alhossini, M., Khavari Khorasani, S., & Khalili Torghabeh, A., (2013). Effects of planting pattern on morpho-phiysiological characteristics and yield and yield components of sweet and super sweet corn varieties (*Zea mays* L. var. saccarata). *Journal of Crop Ecophysiology*, *6*(24(4)), 377-388. (In Persian with English Summary)
40. Razzaghi, F., & Sepaskhah, A.R., (2012). Calibration and validation of four common ET0 estimation equations by lysimeter data in a semi-arid environment. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *58*(3), 303-319. https://doi.org/10.1080/03650340.2010.518957
41. Romero-Perdomo, F., Abril, J., Camelo, M., Moreno-Galván, A., Pastrana, I., Rojas-Tapias, D., & Bonilla, R., (2017). *Azotobacter chroococcum* as a potentially useful bacterial biofertilizer for cotton (*Gossypium hirsutum*): Effect in reducing N fertilization. *Revista Argentina de Microbiología*, *49*, 377-383.
42. Sadeghi, H., & Bahrani, J., (1998). The effects of plant density and nitrogen values on the corn yield and yield components. *Iranian Journal of Agronomy Science*, *3*(2), 1-11. (In Persian with English Summary)
43. Sadeghi, H., & Bahrani, M.J., (2002). Effects of plant density and nitrogen rates on morphological characteristics and kernel protein contents of corn (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Agriculture Science*, *3*(2), 403-412. (In Persian with English Summary)
44. Singh, Y.P., Dwivedi, R., & Dwivedi, S.V., (2008). Effect of bio-fertilizer and graded dose of nitrogen on growth and flower yield of calendula (*Calendula officinalis* L.). *Plant Archives*, *8*(2), 957-958.
45. Soltani, A., Waismoradi, A., Heidari, M., & Rahmati, H., (2013). Effect of water deficit stress and nitrogen on yield and compatibility metabolites on two medium maturity corn cultivars. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, *5*(7), 737-740.
46. Sturz, A.V., & Christie, B.R., (2003). Beneficial microbial allelopathies in the root zone: The management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. *Soil and Tillage Research*, *72*(2), 107-123. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00082-5
47. Tajik Khaveh, M., Allahdadi, I., & Ebrahimi Hoseinzadeh, B., (2015). Effect of slow-release nitrogen fertilizer on morphologic traits of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, *6*(2), 546-559.
48. Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., & Polasky, S., (2002). Agricultural sustainability and

intensive production practices. *Nature*, *418*, 671-677.

49. Wang, Q.K., Wang, S.L., & Liu, Y.X., (2008). Responses to N and P fertilization in a young *Eucalyptus dunnii* plantation: Microbial properties, enzyme activities, and dissolved organic matter. *Applied Soil Ecology*, *40*, 484-490. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.07.003
50. Zafarian, F., (2002). Investigation of plant density, planting arrangement and nitrogen rates on the quality and quantity of characters and yield in the single cross 704. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture, Tarbiate Modarres University. (In Persian with English Summary)

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

Research Article
Vol. 15, No. 4, 2024, p. 739-753

Environmental Sustainability Assessment of Two Crop Ecosystems with Ecological Footprint Analysis Approach (Case Study: Dez Catchment)

Nasim Zadehdabagh[1], Seyed Massoud Monavari[2]*, Nargess Kargari[3], Lobat Taghavi[2] and Saeid Pirasteh[4]

1- Ph.D. Candidate, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Associate Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Environmental Science, Takestan branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
4- Professor, Department of Surveying and Geoinformatics, Faculty of Geosciences and Environmental Management, Southwest Jiaotong University, Chengdu, China.
(*- Corresponding author Email: sm.monavari.94@gmail.com)

Received: 26-12-2021
Revised: 21-02-2022
Accepted: 12-03-2022
Available Online: 25-01-2021

How to cite this article:
Zadehdabagh, N., Monavari, S.M., Kargari, N., Taghavi, L., & Pirasteh, S. (2024). Environmental sustainability assessment of two crop ecosystems with ecological footprint analysis approach (Case study: Dez catchment). *Journal of Agroecology*, *15*(4), 739-753. (in Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/jag.v1i1.51328

Introduction

Wheat and maize are important and strategic crops in Iran. These crops are widely grown in the Dez catchment area. Therefore, due to climate change, recent droughts, water bankruptcy in the country, low water consumption efficiency in agriculture, and the excessive consumption of input, which pose a serious threat to agriculture and food security, it is necessary to achieve a correct understanding of the sustainable production of crops in the region. Improper use of chemical fertilizers, pesticides, fossil fuels, and machinery causes irreversible environmental damage. To reduce these adverse environmental effects, the idea of sustainable agriculture and the transformation of agriculture from high-input to low-input consumption are very important. The footprint index determines the pressure on nature caused by man or other man-made systems. The carbon uptake criterion is used to assess the ecological footprint. Ecological footprint estimates the amount of productive land needed to compensate for the environmental impacts of a particular activity by calculating resource consumption and carbon dioxide production. According to studies, each hectare of land can absorb 1.8 tons of carbon. The carbon uptake criterion is used to assess the ecological footprint.

Materials and Methods

The method of the present study has a practical approach because it is in line with achieving sustainable agricultural development. This research was carried out in the cropping year of 2019-2020 at the Dez catchment. To determine agriculture's environmental sustainability, we used the modified ecological footprint method presented by Kissinger and Gottlieb (2012) and Guzman et al. (2013). In this study, the ecological footprint was determined based on a place-oriented approach by obtaining the inputs' energy consumption and the amount of crop and land energy. All the variables were collected in the form of a questionnaire and through interviews with

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https:// DOI: 10.22067/jag.v1i1.51328

400 wheat and maize farmers in the study area. Equivalent factors were also selected from similar studies. An independent samples t-test was performed between the two crops to determine whether there were differences in the evaluation of EF.

Results and Discussion

The results of evaluating the ecological footprint method of wheat and maize cultivation in the study area at the level of one hectare were 3.50 and 4.66 global hectares, respectively. The results of the ecological footprint assessment for wheat and maize showed that both cropping systems are in an unsustainable state in terms of the environment. These systems produce 1.7 tons and 2.86 tons of excess carbon to produce wheat and maize, respectively, which are more than the ecological capacity of one hectare to absorb environmental pollution. For both wheat and maize crops, nitrate fertilizer at 40.85% and 49.36%, diesel fuel at 18.57% and 17.60%, and water consumption at 14.57% and 16.31%, respectively, had the greatest impact on environmental instability in the study area. The mean comparison of the ecological footprint between the two crops showed no significant difference between wheat and maize. The high ecological footprint of traditional agriculture was consistent with previous studies (Naderi Mahdei et al., 2015; Kissinger and Gottlieb, 2012; Bevec et al., 2011). Also, the important role of nitrate fertilizer and fossil fuels in increasing environmental hazards and ecological unsustainability was consistent with Fallahpour et al., (2012). It should be noted that no study was found to contradict the current study's findings.

Conclusion

Both wheat and maize cropping systems were not environmentally sustainable, and the total consumption inputs for both crops, chemical fertilizers, especially nitrate fertilizer and diesel fuel, have had the greatest impact on environmental instability in the study area. As a final result, the ecosystem of irrigated wheat production is more desirable than grain maize in terms of environmental sustainability; therefore, the production of both crops, especially maize, must be done with the highest accuracy and consider environmental considerations in the region.

Keywords: Cereals, Energy, Global hectare, Input, Sustainable agriculture

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ۷۵۳-۷۳۹

ارزیابی پایداری زیست‌محیطی دو بوم‌نظام زراعی با رویکرد تحلیل ردپای بوم‌شناختی (مطالعه موردی: حوضه آبریز دز)

نسیم زاده‌دباغ[۱]، سید مسعود منوری[۲*]، نرگس کارگری[۳]، لعبت تقوی[۲] و سعید پیراسته[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱

چکیده

دستیابی به پایداری کشاورزی برای نسل فعلی و آینده حیاتی است. اندازه‌گیری ردپای اکولوژیک به‌عنوان ابزار مناسبی در راستای دستیابی به اصول پایداری، در بوم‌نظام‌های مختلف ضرورت دارد. این مطالعه با هدف تعیین سطح پایداری اکولوژیکی دو نظام تولید گندم‌آبی (*Triticum*) و ذرت‌دانه‌ای (*Zea mays*) با استفاده از ارزیابی ردپای اکولوژیکی در سطح حوضه آبریز دز در استان خوزستان در سال زراعی ۱۳۹۹- ۱۳۹۸ انجام گردید. به این منظور، تعداد ۴۰۰ پرسشنامه بر اساس روش نمونه‌برداری تصادفی ساده برای کشاورزان تکمیل شد. ارزیابی ردپای اکولوژیک بر اساس مصرف انرژی نهاده‌ها برای کشت گندم و ذرت در منطقه مطالعاتی در سطح یک هکتار به‌ترتیب ۳/۵۰ و ۴/۶۶ هکتار جهانی به‌دست آمد، این نتایج نشان داد، هر دو کشت از نظر زیست‌محیطی در وضعیت ناپایداری قرار دارند و علی‌رغم اینکه بین ردپای اکولوژیکی دو محصول زراعی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، ولی در این مطالعه کشت گندم از ناپایداری زیست‌محیطی کمتری برخودار است. همچنین هر دو کشت بیش از ظرفیت اکولوژیکی یک هکتار زمین مولد بهره‌برداری می‌شوند، به‌طوری‌که زمین مورد نیاز برای جبران اثرات زیست‌محیطی این دو کشت کافی نیست. از کل نهاده‌های مصرفی؛ کود شیمیایی نیترات (بیش از ۴۰ درصد)، سوخت گازوئیل (بیش از ۱۷ درصد) و آب (بیش از ۱۴ درصد) بیشترین تأثیر را بر ناپایداری زیست‌محیطی در منطقه مطالعاتی داشته است. در نتیجه، مصرف بالای نهاده‌ها به‌ویژه مصرف کودهای شیمیایی و سوخت گازوئیل باعث آلودگی‌های زیست‌محیطی در منطقه شده است. بنابراین، ردپای اکولوژیکی زراعت به‌طرز چشمگیری در سیستم‌های کشاورزی منطقه مطالعاتی افزایش یافته و نگران‌کننده است.

واژه‌های کلیدی: انرژی، غلات، کشاورزی پایدار، نهاده، هکتار جهانی

۱- دانشجوی دکتری گروه محیط‌زیست (ارزیابی و آمایش سرزمین)، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.
۳- استادیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان، ایران.
۴- استاد گروه نقشه‌برداری و ژئوانفورماتیک، دانشکده علوم زمین و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه جیائوتنگ جنوب غربی، چنگدو، چین.
(*- نویسنده مسئول:
(Email: sm.monavari.94@gmail.com

DOI: 10.22067/agry.2022.74317.1085

مقدمه

امروزه فشاری که رشد جمعیت بر منابع محدود وارد می‌کند یک چالش بزرگ برای امنیت غذایی و کیفیت بالای زندگی نسل آینده است (Amini et al., 2020). افزایش جمعیت باعث افزایش تقاضای تولید مواد غذایی، مصرف انرژی و توسعه اقتصادی می‌شود (Sarkodie et al., 2019). انرژی یک نیروی محرکه مهم برای توسعه هر بخش است به‌ویژه برای بخش کشاورزی که هم مصرف‌کننده و هم تولیدکننده انرژی است. در واقع، کشاورزی، بخش کلیدی اقتصادی کشورهای در حال توسعه است (Silalertruksa & Gheewala, 2018). کشاورزی ارتباط تنگاتنگی با محیطزیست دارد، به‌طوری‌که چالش اصلی برای بخش کشاورزی؛ ضمن کاهش اثرات زیست‌محیطی و حفظ منابع طبیعی برای آیندگان، تغذیه جمعیت رو به رشد جهان است (Streimikis & Balezentis, 2020). لذا، کشاورزی پایدار با ترکیب مسائل زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی می‌تواند کمک حیاتی برای کاهش فقر و تضمین امنیت غذایی باشد (Talukder et al., 2020).

در ایران زراعت‌های آبی رکن اساسی کشاورزی را تشکیل می‌دهند. تقریباً ۹۸ درصد محصولات غذایی تولید شده در ایران از اراضی آبی به‌دست می‌آیند. به‌طوری‌که عمده‌ترین محصولات زراعی و شاخص منطقه گندم و ذرت می‌باشند (Pilevar et al., 2020). در فرآیند تولید این محصولات؛ استفاده بی‌رویه از نهاده‌هایی مانند کود و سموم شیمیایی، سوخت‌های فسیلی و ماشین آلات صدمات جبران ناپذیری به محیطزیست وارد می‌نمایند. ایران به‌عنوان کشوری که در ناحیه گرم و خشک واقع شده است، با مشکلات متعددی از جمله شرایط بحران آب، مصرف بی‌رویه آب و نهاده‌های کشاورزی و شیوه‌های ناکارآمد مدیریت کشاورزی سنتی مواجه است؛ برای کاهش این اثرات نامطلوب محیطی؛ اندیشه کشاورزی پایدار و تبدیل کشاورزی از مصرف پرنهاده به کم نهاده و در نتیجه استفاده از روش‌هایی برای افزایش پایداری سیستم‌های کشاورزی برای سیاره زمین از اهمیت بالایی برخوردار است (Sarkar et al., 2020).

در سال‌های اخیر روش‌های نوینی در زمینه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در جامعه علمی جهان مطرح شده است که یکی از پرطرفدارترین و نوین‌ترین این روش‌ها، روش ردپای اکولوژیکی است که به بررسی اثرات زیست‌محیطی در بخش‌های مختلف می‌پردازد (Ress & Wackernagel, 1999). این روش در جستجوی برقراری ارتباط بین منابع طبیعی و تقاضای ما از آن برای تأمین کالا، خدمات و اراضی است؛ از این‌رو، ابزار مناسبی برای اندازه‌گیری پیشرفت جوامع به‌سوی پایداری است (Tarazkar et al., 2019). ردپای اکولوژیک به‌عنوان یک شاخص توسعه پایدار ابزاری جهت ارزیابی اثرات سیستم‌های مختلف تولید کشاورزی است که میزان فشار وارده بر طبیعت که عامل آن انسان و یا سایر سیستم‌های انسان ساخت است را مشخص می‌سازد (Agostinho & Pereira, 2013). در واقع، ردپای اکولوژیکی میزان زمین مولد مورد نیاز برای جبران اثرات زیست‌محیطی ناشی از یک فعالیت خاص را به‌واسطه محاسبه میزان مصرف منابع و تولید دی اکسید کربن، برآورد می‌کند (Fang et al., 2014). بر اساس مطالعات انجام شده، هر هکتار زمین توانایی جذب ۱/۸ تن کربن را دارد، در واقع معیار جذب کربن به‌عنوان مبنایی برای ارزیابی ردپای اکولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، برای ارزیابی ردپای اکولوژیکی بر حسب کربن، از شاخص انرژی استفاده می‌گردد و برای تعیین شاخص انرژی، فاکتورهای معادل ساز ویژه‌ای وجود دارند که با استفاده از آن‌ها میزان انرژی حاصل از تأثیر هر یک از متغیرهای اثرگذار بر محیطزیست، بر حسب متوسط هکتار جهانی (gha[1]) برآورد می‌گردد (Naderi Mahdei et al., 2015).

با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیک تحقیقات مختلفی در ارتباط با ارزیابی پایداری محصولات و سیستم‌های کشاورزی انجام شده است از جمله: نادری مهدئی و همکاران (Naderi Mahdei et al., 2015) طی مطالعه‌ای از تحلیل ردپای اکولوژیکی جهت مقایسه ارزیابی پایداری زیست‌محیطی سیستم‌های متداول با سیستم‌های خاکورزی حفاظتی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که هر دو سیستم زراعی ناپایدار بودند، با این حال ثابت شد که سیستم‌های حفاظتی با محیطزیست بیشتر سازگار بوده و پایدارتر هستند. کیسینگر و گوتلیب (Kissinger & Gottlieb, 2012) طی پژوهشی، نقش تجزیه و تحلیل ردپای اکولوژیکی را به‌عنوان یک شاخص پایداری به‌طور گسترده مورد تأیید قرار دادند، این محققین طی مطالعه‌ای، سه رویکرد را در مورد ردپا تحلیل کردند و آن‌ها چنین استدلال نمودند که ادغام همه رویکردها می‌تواند شاخص بهتر و جامع‌تری از پایداری ایجاد کند که قادر خواهد بود، مدیریت تأمین منابع پایدار را پشتیبانی کند.

1- Global hectares

رضایی و همکاران (Rezaei et al., 2019) طی مطالعه‌ای به تحلیل ردپای اکولوژیکی کشت سیب زمینی (*Solanum tuberusum*) و خیار (*Cucumis sativus*) در دهستان سفالگران شهرستان بهار پرداختند. برای ارزیابی پایداری، با در نظر گرفتن مصرف انرژی، از شاخص‌های ارزیابی زیست‌محیطی بر اساس مصرف بذر، آب، سوخت، نیروی انسانی، کود، سموم، تولید محصولات سیب زمینی و خیار استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که بر اساس رویکرد ردپا، هر دو کشت در وضعیت ناپایدار قرار دارند و تفاوت معنی‌داری بین نمره کل ردپای اکولوژیکی در کشت سیب زمینی (۴/۰۳ هکتار جهانی) و کشت خیار (۳/۲۳ هکتار جهانی) وجود دارد، به‌طوری‌که کشت خیار از ناپایداری زیست‌محیطی کمتری برخودار است.

محصولات زراعی شاخص منطقه مطالعاتی با توجه به آمار و داده‌های سازمان جهاد کشاورزی و همچنین نظر متخصصین این حوزه؛ گندم و ذرت می‌باشند. که بنا به نوع مطالعه صرفاً دو محصول زراعی گندم آبی و ذرت دانه‌ای مدنظر این مطالعه می‌باشند. نهایتاً نتایج این مطالعه منجر به برنامه‌ریزی و تصمیمات مدیریتی می‌شود که با به کارگیری آن‌ها می‌توان آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی را به حداقل ممکن رساند. هدف از این مطالعه، ارزیابی پایداری دو محصول استراتژیک گندم آبی و ذرت دانه‌ای با استفاده از رویکرد تحلیل ردپای اکولوژیکی در سطح حوضه آبریز دز در استان خوزستان به‌عنوان یکی از قطب‌های اصلی تولید محصولات زراعی در ایران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی بخشی از حوضه آبریز دز در محدوده اراضی پایین‌دست سد مخزنی دز تا انتهای حوضه در محل بندقیر (محل اتصال رودخانه دز به رودخانه کارون) در استان خوزستان می‌باشد که بین "۷ '۹ °۴۸ تا "۴۲ '۵۶ °۴۸ طول شرقی و "۱۳ '۳۹ °۳۲ تا "۴۲ '۳۵ °۳۱ عرض شمالی واقع شده است. مساحت این محدوده ۵۰۸۵/۲۶ کیلومترمربع می‌باشد. حوضه آبریز رودخانه دز به‌عنوان یک حوضه درجه سه، زیر مجموعه‌ای از حوضه کارون بزرگ محسوب می‌شود و در تقسیم‌بندی بزرگ‌تر در زیر مجموعه حوضه خلیج فارس و دریای عمان قرار می‌گیرد (Ahmadi et al., 2017).

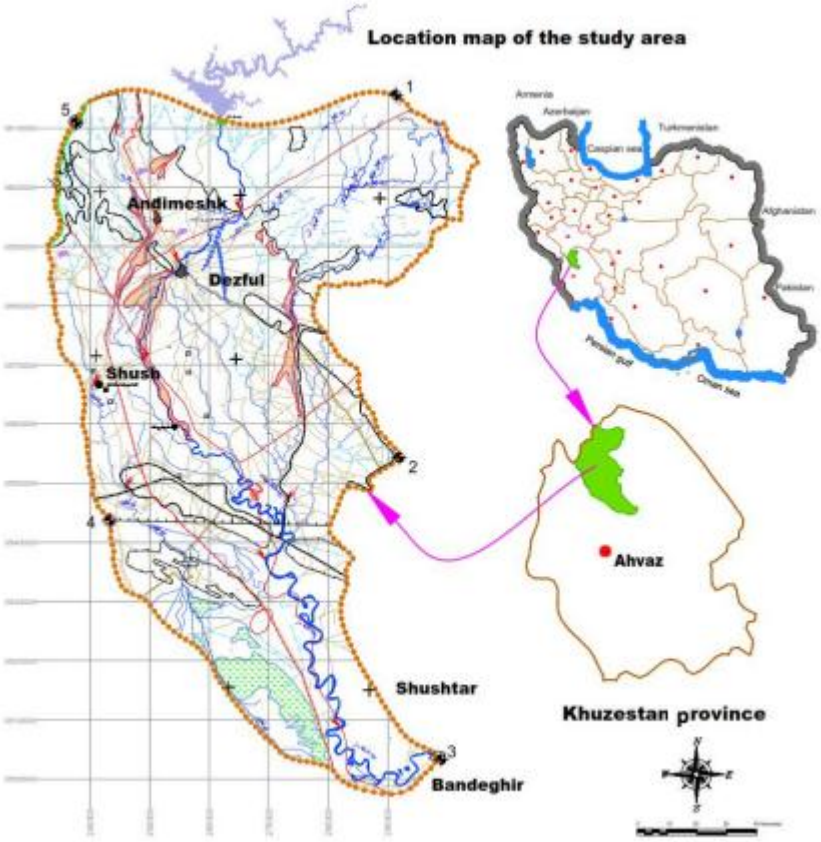
اقلیم خشک و نیمه خشک بیشترین سطح منطقه مطالعاتی را تشکیل می‌دهد. متوسط میزان بارندگی سالانه ۳۵۰ میلی‌متر می‌باشد. کیفیت اراضی منطقه از نظر کشاورزی در حد مطلوب می‌باشد، غالب خاک منطقه از نوع رسی می‌باشد. متوسط شیب در منطقه مورد مطالعه ۴/۶ درصد می‌باشد که نشان می‌دهد، اراضی منطقه هموار می‌باشند. عمده محصولات کشاورزی منطقه شامل: جو (*Hordeum vulgare*)، کلزا (*Brassica napus*)، سبزیجات، یونجه (*Medicago sativa*)، مرکبات (*Citrus sinensis*)، نیشکر (*Saccharum officinarum*)، برنج (*Oryza sativa*) با غالبیت گندم و ذرت می‌باشند. این منطقه از نظر کاربری کشاورزی اهمیت بسیاری دارد و از مهم‌ترین قطب‌های تولید کشاورزی در ایران محسوب می‌شود. شکل ۱، موقعیت منطقه مطالعاتی را در استان خوزستان و کشور ایران نشان می‌دهد.

جامعه آماری

کلیه کشاورزان بهره‌بردار از شبکه آبیاری دز در بخش‌های شمالی استان خوزستان شامل شهرستان‌های دزفول، اندیمشک و شوش و حاشیه شوشتر می‌باشند که از سیستم کشت مرسوم یا سنتی، در شرایط تناوب کشت ذرت دانه‌ای و گندم آبی؛ استفاده می‌کنند. حجم نمونه بر پایه فرمول کوکران با سطح خطای ۰/۰۵ با توجه به نامشخص بودن جامعه آماری، تعداد ۳۸۴ نمونه برآورد شد که برای اطمینان بیشتر ۴۰۰ نفر (کشاورز گندم‌کار و ذرت‌کار) به‌عنوان حجم نمونه در این مطالعه انتخاب شدند و در نهایت، بر اساس روش نمونه‌برداری تصادفی ساده، مصاحبه با ۴۰۰ نفر کشاورز منتخب در منطقه مطالعاتی توسط پرسشنامه صورت پذیرفت که اعتبار آن توسط هیئت متخصصان مرکز تحقیقات صفی‌آباد شهرستان دزفول تأیید گردید. همچنین از روش آلفای کرونباخ برای تعیین پایایی پرسشنامه استفاده شد که عدد آلفا، ۰/۸۴ برآورد گردید که نشان می‌دهد، سطح پایایی پرسشنامه خوب و قابل قبول می‌باشد.

روش کار

روش پژوهش حاضر از این جهت که در راستای دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی است، از رویکرد کاربردی برخوردار است. این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۹– ۱۳۹۸ در بخشی از حوضه آبریز دز انجام شد.



شکل ۱- نمای کلی موقعیت منطقه مطالعاتی
Fig. 1- General view and location of the study area

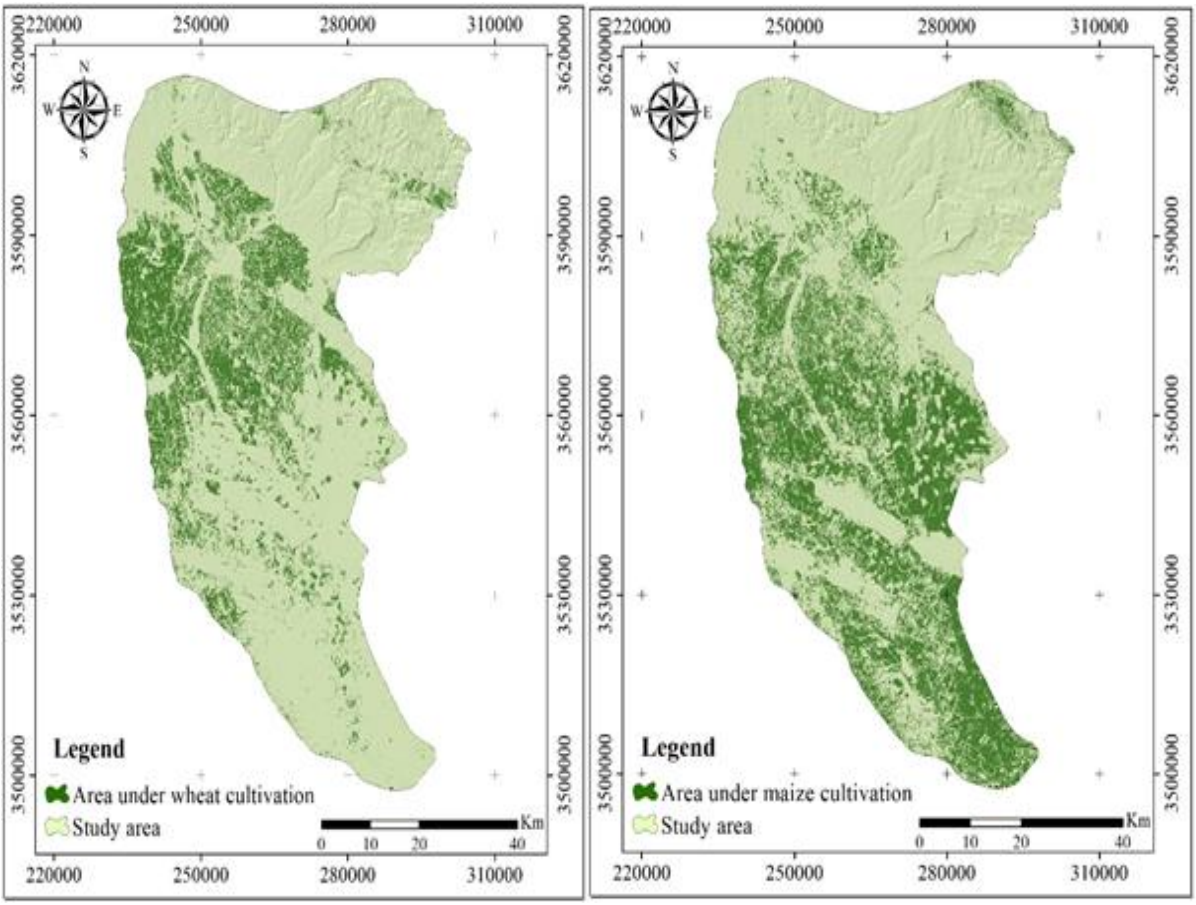
در این مطالعه، جهت تعیین شاخص‌های پایداری بر اساس مؤسسات معتبر بین‌المللی شاخص ردپای اکولوژیک محصولات کشاورزی انتخاب گردید که این شاخص ابزار مناسبی برای اندازه‌گیری پیشرفت جوامع به‌سوی پایداری است.

همچنین جهت تهیه نقشه سطح زیر کشت محصول زراعی گندم آبی و ذرت دانه‌ای به‌ترتیب از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به تاریخ ۲۰۲۱/۰۴/۱۳ و ۲۰۲۰/۹/۱۷ سنجنده OLI[1] ماهواره Landsat ۸ استفاده گردید. علت انتخاب این تصاویر در زمان‌های مذکور؛ در دسترس بودن تصاویر مناسب و همچنین در نظر گرفتن دوره رشد و قابل شناسایی بودن محصول مورد نظر می‌باشد. بنابراین، با توجه به شکل ۲ برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای مساحت کل سطح زیر کشت گندم آبی ۱۰۳۳۷۱/۱۲ هکتار و ذرت دانه‌ای ۱۲۷۷۸۵/۳۸ هکتار در منطقه مطالعاتی به‌دست آمد. داده‌های مربوط به فرآیندهای تولید درون مزارع مانند عملیات زراعی و آبیاری و غیره برای هر دو محصول شاخص منطقه توسط پرسشنامه در سطح کشاورزان نمونه، جمع‌آوری گردید.

روش ردپای اکولوژیک

روش ردپای اکولوژیکی جهت ارزیابی پایداری زیست‌محیطی کشاورزی توسط Kissinger & Gottlieb (2012) و Solís-Guzmán et al (2013) ارائه شده است، در این مطالعه، ارزیابی ردپای اکولوژیکی بر اساس رویکرد مکان‌محور؛ بر مبنای مصرف انرژی نهاده‌ها، میزان محصول و میزان زمین انرژی، برای مقایسه پایداری دو محصول زراعی مذکور در منطقه مطالعاتی به‌صورت زیر انجام پذیرفت:

1- Operational Land Imager



شکل ۲- نقشه مساحت سطح زیر کشت گندم آبی (سمت راست) و ذرت دانه‌ای (سمت چپ) برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای

Fig. 2- Map of the area under cultivation of irrigated wheat (right) and grain maize (left) taken from satellite images

ارزیابی ردپای اکولوژیکی بر مبنای مصرف انرژی نهاده‌ها

ارزیابی ردپای اکولوژیکی بر مبنای مصرف انرژی نهاده‌ها بر اساس معادله‌های ۱، ۲ و ۳ انجام گرفت (Naderi Mahdei et al., 2015).

$$EF_t = \sum_{i=1}^{n} EF_i = \left[\frac{E_i \times T}{C_o}\right] \quad \text{معادله (۱)}$$

$$Ei = F_i \times EQF \times 1000 \quad \text{معادله (۲)}$$

$$T = \left[\frac{P_c}{E_c \times O_c \times K}\right] \quad \text{معادله (۳)}$$

که در این مدل، EF_t: شاخص ردپای اکولوژیکی بر حسب هکتار جهانی، E_i: انرژی فاکتور i بر حسب کیلوژول (Kj)، F_i: انرژی فاکتور i ام، T: عدد ثابت، C_o: توانایی یک هکتار زمین در جذب کربن بر حسب تن (۱/۸ تن)، EQF: فاکتور معادل ساز فاکتور ام برای تبدیل زمین مولد به هکتار جهانی، E_c: توانایی تولید انرژی توسط هر گرم زغال سنگ (۲۰ کیلوژول)، p_c: درصد کربن موجود در زغال سنگ (۰/۸۵ درصد) بر حسب گرم، O_c: درصد زغال سنگ بازدهی شده توسط گیاهان معادل (۰/۳۱۴ درصد) برحسب گرم و K: ضریب ثابت برای تبدیل گرم به تن (۱،۰۰۰،۰۰۰) می‌باشند (Naderi Mahdei et al., 2015).

ارزیابی ردپا بر اساس میزان محصول

ردپای اکولوژیکی در این روش بر اساس محصول به‌دست آمده اعم از گندم و ذرت و کاه و کلش برآورد گردید (Bahrami, 2015).

$$EP_t = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{(P_i)(PP \times PC)}{C_o}\right) \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن، EP_t: ردپای اکولوژیکی محصول بر حسب هکتار جهانی، P_i: میزان محصول (گندم، ذرت، کاه و کلش) بر حسب تن، pp: درصد زغال سنگ بازدهی شده توسط گیاهان معادل (۰/۳۱۴

درصد) بر حسب گرم، PC: درصد کربن موجود در زغال سنگ (۰/۸۵ درصد) بر حسب گرم و C_o: توانایی یک هکتار زمین در جذب کربن بر حسب تن (۱/۸ تن) می‌باشند (Bahrami, 2015).

ارزیابی ردپا بر اساس میزان زمین انرژی

روش میزان زمین انرژی از برآورد انرژی‌های ورودی و خروجی بر حسب گیگاژول به‌دست آمد (Bahrami, 2015).

در این مطالعه، تمام متغیرهای مورد نظر در قالب پرسشنامه و از طریق مصاحبه با کشاورزان گندم‌کار و ذرت‌کار در منطقه مطالعاتی جمع‌آوری شد، معادل‌های انرژی نیز از مطالعاتی که بیشترین شباهت را با شرایط این مطالعه داشتند، انتخاب شدند. همچنین برای تحلیل آماری داده‌ها جهت مقایسه میانگین ارزیابی ردپای اکولوژیک میان دو محصول زراعی مورد نظر از آزمون تی مستقل[1]، در نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۳ استفاده گردید.

نتایج و بحث

ارزیابی ردپای اکولوژیک بر حسب مصرف انرژی نهاده‌ها

کشت گندم آبی

یافته‌ها نشان داد که ردپای اکولوژیک کشت گندم آبی در منطقه مطالعاتی بر اساس مصرف نهاده‌ها در سطح یک هکتار معادل ۳/۵۰ هکتار جهانی طبق معادله ۵ به‌دست آمد (Bahrami, 2015).

معادله (۵)

$$EF = \sum_{i=1}^{12} EF_i = \left[\frac{46535.87\ MJ * 1000 * \left[\frac{0.85}{20 * 0.314 * 1000000}\right]}{1.8_{ton}}\right] = 3.50\ gha$$

کشت ذرت دانه‌ای

ردپای اکولوژیک برای کشت ذرت دانه‌ای نیز ۴/۶۶ هکتار جهانی طبق معادله ۶ به‌دست آمد (Bahrami, 2015).

معادله (۶)

$$EF = \sum_{i=1}^{12} EF_i = \left[\frac{61899.72\ MJ * 1000 * \left[\frac{0.85}{20 * 0.314 * 1000000}\right]}{1.8_{ton}}\right] = 4.66\ gha$$

شکل‌های ۳ و ۴ نمودارهای درصد انرژی مصرفی نهاده‌ها را به ترتیب برای کشت گندم آبی و ذرت دانه‌ای نشان می‌دهند. همچنین جدول ۱ به‌طورکلی نهاده‌ها، فاکتورهای معادل ساز، میزان انرژی مصرفی نهاده‌ها و برآورد ردپای اکولوژیک را در سطح یک هکتار برای هر دو محصول در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. شایان ذکر است در جدول مذکور ردپای اکولوژیکی با علامت اختصاری EF[2] و واحد انرژی که در این مطالعه مگاژول است با علامت MJ[3] نشان داده شده است.

ارزیابی ردپای اکولوژیک بر حسب میزان محصول

کشت گندم آبی

یافته‌ها نشان داد که ارزیابی ردپای اکولوژیکی بر اساس میزان محصول، با توجه به مقدار کربن موجود در زغال سنگ و درصد بازدهی زغال سنگ توسط گیاهان، مجموعاً معادل ۱/۱۱ متوسط هکتار جهانی در منطقه مطالعاتی به‌دست آمد (Bahrami, 2015).

معادله (۷)

$$EP_{wheat} = \left[\frac{4.65*0.314*0.85}{1.8_{ton}}\right] = 0.69\ gha$$

معادله (۸)

$$EP_{Straw} = \left[\frac{2.84*0.314*0.85}{1.8_{ton}}\right] = 0.42\ gha$$

بر اساس معادلات ۷ و ۸، ردپای اکولوژیکی محصول گندم آبی معادل ۰/۶۹ و برای کاه و کلش معادل ۰/۴۲ هکتار جهانی برآورد گردید. در نتیجه، میانگین ردپای به‌دست آمده بر اساس میزان محصول (۱/۱۱) کمتر از میانگین ردپای اکولوژیکی بر اساس مصرف نهاده‌ها می‌باشد که در واقع، اثرات زیست‌محیطی حاصل از کاربرد و مصرف نهاده‌هایی مانند کودهای شیمیایی، سوخت گازوئیل و غیره را در سیستم کشت گندم آبی در منطقه مطالعاتی تأیید می‌کند.

کشت ذرت دانه‌ای

ردپای اکولوژیکی بر اساس میزان محصول برای ذرت دانه‌ای نیز ۱/۱۴ متوسط هکتار جهانی در منطقه مطالعاتی به‌دست آمد.

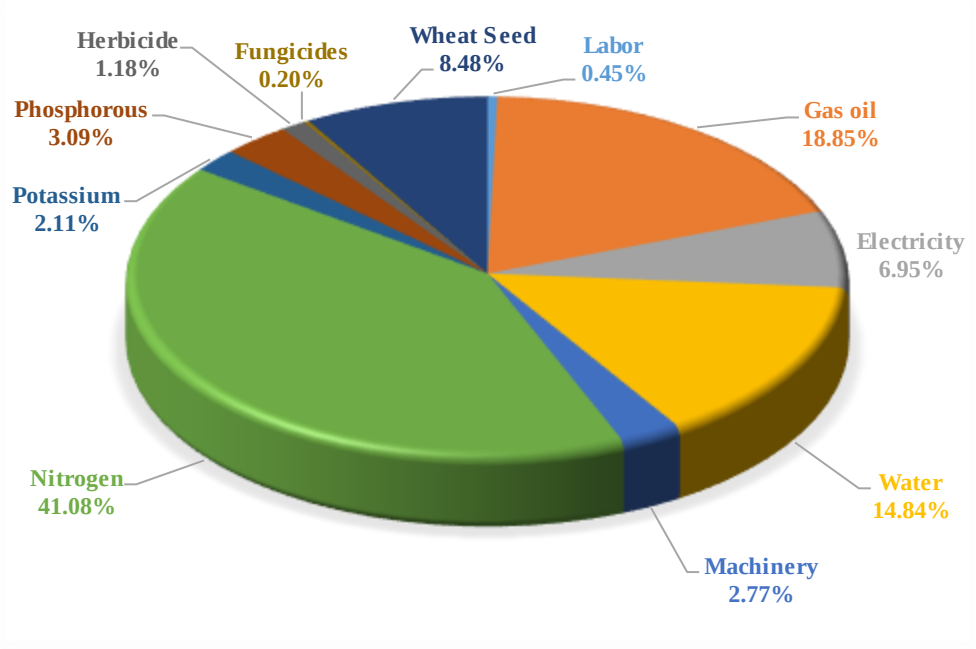
معادله (۹)

$$EP_{maize} = \left[\frac{7.68*0.314*0.85}{1.8_{ton}}\right] = 1.14\ gha$$

1- Independent Samples t-test

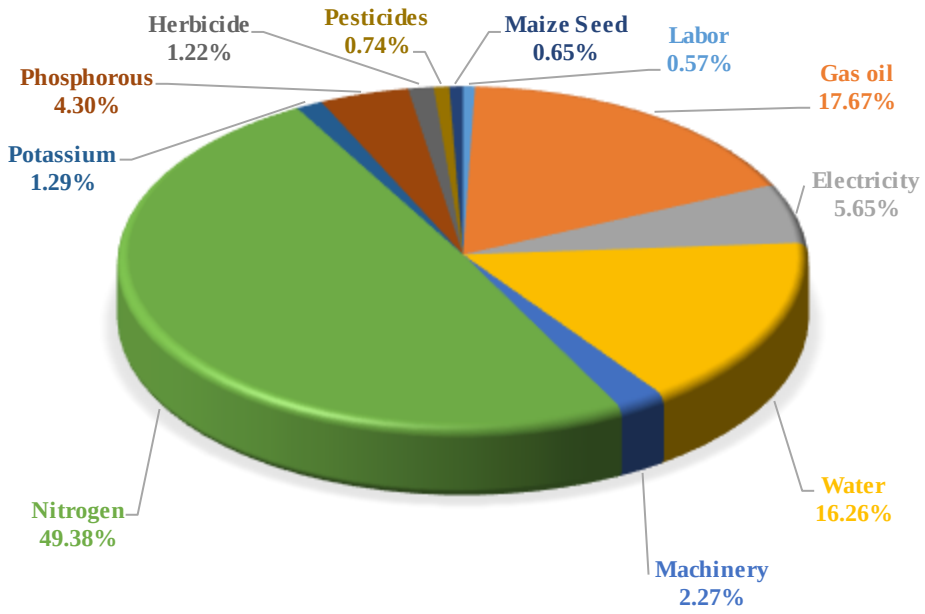
2 - Ecological footprint

3- Mega Joule



شکل ۳- نمودار درصد انرژی مصرفی نهاده‌ها برای تولید گندم آبی

Fig. 3- Graph of the percentage of energy consumption of inputs for the production of irrigated wheat



شکل ٤- نمودار درصد انرژی مصرفی نهاده‌ها برای تولید ذرت دانه‌ای

Fig. 4- Graph of the percentage of energy consumption of inputs for the production of grain maize

بر اساس معادله ۹، ردپای اکولوژیکی محصول ذرت دانه‌ای معادل ۱/۱۴ هکتار جهانی است. در سیستم کشت ذرت دانه‌ای نیز، میانگین ردپای به‌دست آمده بر اساس میزان محصول کمتر از میانگین ردپای اکولوژیکی بر اساس مصرف نهاده‌ها بود. مطابق

اطلاعات به‌دست آمده از کشاورزان نمونه منطقه مطالعاتی، در کشت ذرت دانه‌ای با توجه به اینکه کاه و کلش تولیدی فاقد ارزش اقتصادی برای کشاورزان است، بنابراین از محاسبه آن صرف‌نظر شده است.

جدول ۲، خروجی‌ها، ضریب تبدیل، میزان انرژی مصرفی خروجی‌ها و برآورد ردپای اکولوژیک را در سطح یک هکتار برای هر دو محصول در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد.

جدول ۲- ردپای اکولوژیک خروجی‌ها برای کشت گندم آبی و ذرت دانه‌ای

Table 2- The ecological footprint of outputs irrigated wheat and grain maize

متغیرها Items (unit)	ضریب تبدیل Equivalent factor (MJ.unit^{-1})	مراجع Refrences	گندم Wheat		ذرت Maize	
			انرژی Energy (MJ)	ردپا EF (gha)	انرژی Energy (MJ)	ردپا EF (gha)
دانه گندم Wheat grain (kg)	14.7	تیپی و همکاران (Tipi et al.,2009)	68355	0.69	-	-
دانه ذرت Maize grain (kg)	14.7	کنکچی و همکاران (Canakci et al., 2005)	-	-	112896	1.14
کاه و کلش گندم Wheat straw (kg)	9.25	طباطبایی و همکاران (Tabatabaeefar et al., 2009)	26270	0.42	-	-
		جمع Total	94625	1.11	112896	1.14

ارزیابی ردپای اکولوژیک بر حسب میزان زمین انرژی

کشت گندم آبی

یافته‌ها نشان داد که ردپای اکولوژیکی بر اساس میزان زمین انرژی معادل ۱/۴۱ هکتار جهانی برآورد گردید. از بین فاکتورهای مصرفی، ردپای کود شیمیایی نیترات و سپس سوخت گازوئیل بیشترین میزان آلودگی زیست‌محیطی را به خود اختصاص دادند. این روش بر این اساس است که هر هکتار جنگل (زمین انرژی) توانایی جذب ۱۰۰ گیگاژول انرژی را در خود دارد و چنانچه انرژی مصرفی بیش از این مقدار باشد، از لحاظ زیست‌محیطی، آلودگی محسوب می‌شود. بنابراین، در سیستم کشت گندم آبی در منطقه مطالعاتی حدود ۰/۴ بیشتر از توانایی جذب آلودگی‌های زیست‌محیطی توسط یک هکتار زمین انرژی از زمین بهره‌برداری شده است که در واقع، این روش نیز ناپایداری اکولوژیکی کشاورزی را در منطقه مطالعاتی برای کشت گندم آبی مورد تأیید قرار می‌دهد.

کشت ذرت دانه‌ای

ردپای اکولوژیکی بر اساس میزان زمین انرژی برای کشت ذرت دانه‌ای معادل ۱/۷۴ هکتار جهانی برآورد گردید. مشابه گندم آبی برای این محصول نیز از بین فاکتورهای مصرفی، ردپای کود نیترات و سپس سوخت گازوئیل بیشترین میزان آلودگی زیست‌محیطی را به خود اختصاص دادند. در سیستم کشت ذرت دانه‌ای نیز حدود ۰/۷ بیشتر از توانایی جذب آلودگی‌های زیست‌محیطی توسط یک هکتار زمین انرژی از زمین بهره‌برداری شده است که در واقع، این روش نیز ناپایداری اکولوژیکی کشاورزی را در منطقه مطالعاتی برای کشت ذرت دانه‌ای نیز مورد تأیید قرار می‌دهد.

مقایسه ردپای اکولوژیک کشت گندم آبی و ذرت دانه‌ای

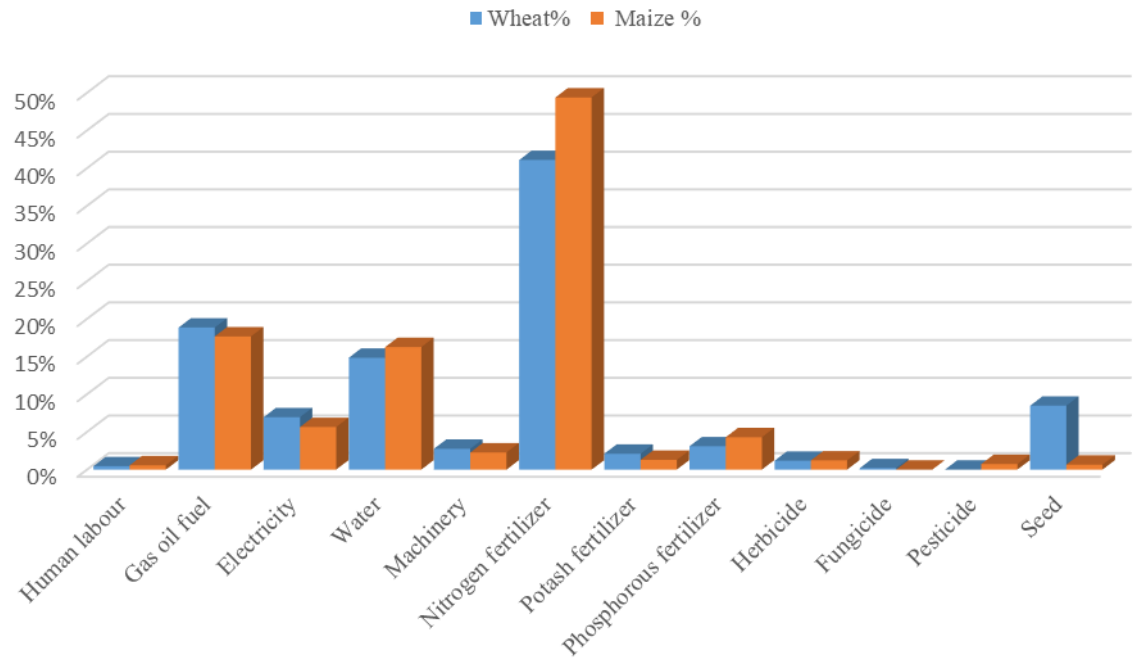
نتایج ارزیابی ردپای اکولوژیک نشان داد که هر دو نظام کشت گندم و ذرت در منطقه از نظر زیست‌محیطی در وضعیت ناپایداری قرار دارند. علی‌رغم اینکه بین ردپای اکولوژیکی در کشت گندم و ذرت به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ وجود ندارد (جدول ۳)، ولی در این مطالعه کشت گندم از ناپایداری زیست‌محیطی کمتری برخوردار است. در واقع، کشت ذرت به‌دلیل مصرف بیشتر نهاده‌ها ناپایداری و آلودگی زیست‌محیطی بیشتری در مقایسه با کشت گندم دارد. همچنین زمین مورد نیاز برای جبران اثرات زیست‌محیطی این دو کشت زراعی کافی نیست. به بیان دیگر، این سیستم‌ها برای تولید گندم و ذرت به‌ترتیب مقدار ۱/۷ تن و ۲/۸۶ تن کربن اضافه تولید می‌کنند که بیش از ظرفیت اکولوژیکی یک هکتار

زمین انرژی برای جذب آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌باشد. برای هر دو محصول گندم و ذرت نیز به‌ترتیب کود نیترات با ۴۰/۸۵ درصد و ۴۹/۳۶ درصد در رتبه اول و سپس سوخت گازوئیل با ۱۸/۵۷ درصد و ۱۷/۶۰ درصد در رتبه دوم و آب مصرفی با ۱۴/۵۷ درصد و ۱۶/۳۱ درصد در رتبه سوم، بیشترین تأثیر را بر ناپایداری زیست‌محیطی در منطقه مطالعاتی داشته‌اند، که به‌علت مصرف بالای نهاده‌ها به‌ویژه مصرف کودهای شیمیایی و سوخت گازوئیل در سیستم‌های کشاورزی و در نتیجه افزایش شوری و اسیدیته خاک، هم توان اکولوژیکی اراضی کشاورزی کاهش پیدا کرده و هم آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی باعث شده است که ردپای اکولوژیکی زراعت به‌طرز چشمگیری در منطقه مطالعاتی افزایش یابد و نگران‌کننده باشد.

جدول ۳- آزمون تی مستقل برای مقایسه میانگین ارزیابی ردپای اکولوژیک میان کشت گندم آبی و ذرت دانه‌ای

Table 3- Independent t-test to compare the mean ecological footprint assessment between irrigated wheat and grain maize

آزمون نمونه‌های مستقل Independent samples test						
		آزمون لوین برای برابری واریانس‌ها Levene's test for equality of variances		آزمون تی برای برابری میانگین‌ها T-test for equality of means		
		توزیع آماری اف F	سطح معنی‌داری Sig.	تی t	درجه آزادی d.f	سطح معنی‌داری (دو طرفه) Sig. (2-tailed)
ردپای اکولوژیک Ecological Footprint	فرض برابری واریانس Equal variances assumed	0.446	0.510	-0.255	26	0.801
	فرض نابرابری واریانس Equal variances not assumed			-0.255	21.632	0.801



شکل ۵- نمودار مقایسه درصد انرژی نهاده‌ها در کشت گندم آبی و ذرت دانه‌ای

Fig. 5- Comparison chart of energy consumption percentage of inputs for production of irrigated wheat and grain maize

جدول ۱- ردپای اکولوژیک نهاده‌ها برای کشت گندم آبی و ذرت دانه‌ای

Table 1-The ecological footprint of inputs irrigated wheat and grain maize

متغیرها Items (unit)	ضریب تبدیل Equivalent factor ($MJ.unit^{-1}$)	مراجع Refrences	گندم Wheat			ذرت Maize		
			انرژی Energy (MJ)	ردپا EF (gha)	درصد از کل (Percent of total)	انرژی Energy (MJ)	ردپا EF (gha)	درصد از کل (Percent of total)
نیروی انسانی Labour (hour)	1.96	اوزکان و همکاران (Ozkan et al., 2004)	211.68	0.01	0.28	351.58	0.03	0.64
آب Water (m^3)	1.02	کنکچی و آکینچی (Canakci & Akinci, 2006)	6906	0.51	14.57	10060.50	0.76	16.31
بذر گندم Wheat seed (kg)	15.7	تیپی و همکاران (Tipi et al., 2009)	3945.88	0.29	8.28	-	-	-
بذر ذرت Maize seed (kg)	15.11	کنکچی و همکاران (Canakci et al., 2005)	-	-	-	405.85	0.03	0.64
سوخت گازوئیل Gas oil fuel (liter)	38	کلسس و همکاران (Kaltsas et al., 2007)	8771.54	0.65	18.57	10932.98	0.82	17.60
برق Electricity (kw.h)	12.1	کلسس و همکاران (Kaltsas et al., 2007)	3233.12	0.24	6.85	3497.02	0.26	5.58
ماشین‌آلات Machinery (hour)	62.7	ستین و واردر (Cetin & Vardar, 2008)	1289.11	0.09	2.57	1405.10	0.11	2.36
کود نیترات Nitrogen fertilizer (kg)	60.6	اکواز و همکاران (Akcoaz et al., 2009)	19118.08	1.43	40.85	30559.97	2.30	49.36
کود فسفات Phosphorous fertilizer (kg)	11.1	اکواز و همکاران (Akcoaz et al., 2009)	1436.22	0.10	2.85	2659.78	0.20	4.29
کود فسفر Potash fertilizer (kg)	6.7	اکواز و همکاران (Akcoaz et al., 2009)	983.69	0.07	2	797.90	0.06	1.29
علف‌کش Herbicide (kg of active ingredient)	278	سیلیواکز و همکاران (Tzilivakis et al., 2005)	547.66	0.04	1.14	753.38	0.06	1.29
قارچ‌کش Fungicide (kg of active ingredient)	99	استراپسا و همکاران (Straptsa et al., 2006)	95.04	0.08	2.28	-	-	-
آفت‌کش Pesticide (kg of active ingredient)	237	راتکی و همکاران (Rathke et al., 2006)	-	-	-	459.78	0.03	0.64
	جمع Total		46538.02	3.50	100	61883.84	4.66	100

شکل ۴ نمودار مقایسه درصد انرژی نهاده‌ها را در گندم آبی و ذرت دانه‌ای نشان می‌دهد. بنابراین، نتایج این بخش از مطالعه در خصوص ردپای بالای اکولوژیکی زراعت به‌شیوه سنتی با مطالعات انجام شده پیشین از جمله نادری مهدئی و همکاران (Naderi Mahdei et al., 2015) و کیسینجر و گوتلیب (Kissinger & Gottlieb, 2012) و بووک و همکاران (Bevec et al., 2011) و همچنین در مورد نقش مهم فاکتورهای کود نیترات و سوخت فسیلی در افزایش مخاطرات زیست‌محیطی و ناپایداری اکولوژیکی با مطالعه فلاح‌پور و همکاران (Fallahpour et al., 2012) و فیض‌بخش و همکاران (Feyzbakhsh et al., 2013) مطابقت دارد و نتایج این قبیل مطالعات نیز مؤید نتایج مطالعه حاضر می‌باشند. لازم به ذکر است که در تعارض با یافته‌های این پژوهش مطالعه‌ای یافت نشد.

نتیجه‌گیری

محصولات زراعی مانند گندم و ذرت به‌طور فزاینده‌ای در اراضی حوضه آبریز دز کشت می‌شوند، در واقع، این دو محصول هنوز در برنامه‌های دولت و الگوهای کشت کشاورزان مهم هستند. از این‌رو، رسیدن به درک صحیحی از تولید پایدار محصولات زراعی در این منطقه با توجه به تغییر اقلیم، خشکسالی‌های اخیر، ورشکستگی آب در کشور و در نهایت، به‌دلیل مصرف بی‌رویه نهاده‌ها ضروری است. از سویی، ایران همانند سایر کشورهای در حال توسعه به‌ویژه در خاورمیانه، یکی از کشورهای دارای تنش آبی بالا است، بنابراین تمام این عوامل تهدیدی جدی برای کشاورزی و امنیت غذایی می‌باشند. ارزیابی پایداری زیست‌محیطی یکی از مهم‌ترین ابزار در فرآیند برنامه‌ریزی توسعه پایدار بوده و لذا، توجه به آن در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است. در سال‌های اخیر نیز شاخص علمی ردپای اکولوژیکی به‌طور گسترده در سراسر جهان برای اندازه گیری تأثیر انسان بر طبیعت، تعیین پایداری نظام‌های تولیدی و رسیدن به کشاورزی پایدار استفاده شده است. مطالعه حاضر با هدف تعیین پایداری اکولوژیکی دو محصول استراتژیک منطقه یعنی گندم آبی و ذرت دانه‌ای در سطح حوضه آبریز دز در استان خوزستان، تلاش نمود تا از طریق ارزیابی ردپای اکولوژیکی نشان دهد که کشت کدام محصول در منطقه به شرایط پایدار و کارآمد و مطلوب محیطی نزدیک‌تر است. نتایج ارزیابی هر دو نظام کشت بسیار نزدیک به هم بود، به‌طوری‌که هر دو نظام زراعی گندم و ذرت از نظر زیست‌محیطی پایدار نبوده و از کل نهاده‌های مصرفی برای هر دو محصول گندم و ذرت نیز به‌ترتیب، کود نیترات با ۴۰/۸۵ درصد و ۴۹/۳۶ درصد در رتبه اول و سپس سوخت گازوئیل با ۱۸/۵۷ درصد و ۱۷/۶۰ درصد در رتبه دوم و آب مصرفی با ۱۴/۵۷ درصد و ۱۶/۳۱ درصد در رتبه سوم بیشترین تأثیر را بر ناپایداری زیست‌محیطی در منطقه مطالعاتی داشته‌اند. همچنین در این مطالعه، سیستم‌های کشت گندم و ذرت به ترتیب مقدار ۱/۷ تن و ۲/۸۶ تن کربن اضافه تولید می‌کنند که بیش از ظرفیت اکولوژیکی یک هکتار زمین انرژی می‌باشد. بنابراین، می‌توان به این نتیجه رسید که در این مطالعه کشت ذرت در مقایسه با گندم به‌دلیل مصرف بیشتر نهاده‌ها ناپایداری و اثرات زیست‌محیطی بیشتری دارد و در واقع، کشت ذرت به مقادیر بیشتری از زمین کشاورزی نیز نیاز دارد. یافته‌ها نشان داد که برای هر دو کشت مصرف بی‌رویه کود نیترات و گازوئیل باعث آلودگی‌های زیست‌محیطی در منطقه مطالعاتی شده است. از این‌رو، وضعیت سیستم‌های فعلی تولید محصولات کشاورزی در ایران نگران‌کننده و ناکارآمد است. علت ناکارآمدی کشاورزی در منطقه مورد مطالعه را می‌توان به فقدان برنامه توسعه یکپارچه کشاورزی و عدم هماهنگی بخش‌ها و سازمان‌های مرتبط، غلبه نگرش‌های سیاسی و اقتصادی در برنامه‌های توسعه کشاورزی بر نگرش پایداری، ضعف تکنولوژی، استفاده از روش‌های نادرست آبیاری و بالتبع راندمان پایین آبیاری، عدم ارزش‌گذاری واقعی آب در بخش کشاورزی و باور غلط کشاورزان مبنی بر مصرف بی‌رویه نهاده‌ها جهت افزایش میزان محصول مرتبط دانست. بنابراین، با توجه به وابستگی بالای نظام‌های تولید به نهاده‌های مصرفی در این مطالعه به‌منظور بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها و افزایش پایداری محیطی؛ آموزش زارعین در خصوص مصرف به اندازه کودها و سموم شیمیایی، جایگزینی کودهای معدنی به‌جای کودهای شیمیایی، حمایت مالی از زارعین توسط دولت جهت نوسازی ماشین‌آلات کشاورزی فرسوده و الکتروپمپ‌های مناسب با شرایط مزارع و جایگزین نمودن پمپ‌های برقی، ترویج استفاده از سوخت سبز جهت جایگزینی سوخت‌های فسیلی برای اهداف حمل و نقل، بهینه‌سازی قیمت‌گذاری آب همراه با آبیاری نوین توصیه می‌گردد. به‌عنوان نتیجه نهایی، مشخص گردید که بوم‌نظام تولید گندم آبی از لحاظ پایداری محیطی از بوم نظام تولید ذرت دانه‌ای مطلوب‌

تـر است. در واقع، تولید گندم در منطقه نظام برتر برای دسـتیابی بـه پایداری زیست‌محیطی نسبت به تولید ذرت است. بنابراین، با توجه به ردپای برجسته و قابل توجه هر دو محصول زراعی، تولید هر دو کشت بـه‌ویـژه ذرت بایـد بـا بـالاترین دقـت و در نظـر گـرفتن ملاحظـات زیست‌محیطی در منطقه انجام گیرد.

References

1. Agostinho, F., & Pereira, L., (2013). Support area as an indicator of environmental load: Comparison between embodied energy, ecological footprint, and emergy accounting methods. *Ecological Indicators, 24*, 494-503. DOI:10.1016/j.ecolind.2012.08.006
2. Ahmadi, F., Radmanesh, F., Parham, G.A., & Mirabbasi Najafabadi, R., (2017). Application of Archimedean joint functions in flood frequency analysis (Case study: Dez catchment). *Iranian Soil and Water Research (Iranian Agricultural Sciences)*, *48*(3), 477-489. (In Persian with English Summary). DOI:10.22059/ijswr.2017.217805.667551
3. Akcaoz, H., Ozcatalbas, O., & Kizilay, H., (2009). Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, *7*(2), 475-480.
4. Amini, S., Rohani, A., Aghkhani, M.H., Abbaspour-Fard, M.H., & Asgharipour, M.R., (2020). Sustainability assessment of rice production systems in Mazandaran province, Iran with emergy analysis and fuzzy logic. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 40*, 100744. https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100744
5. Bahrami, A., (2015). Environmental impact assessment of agricultural farming systems in Hamedan province: using ecological footprint analysis. Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University of Hamedan, Iran. (In Persian with English Summary)
6. Bavec, M., Narodoslawsky, M., Bavec, F., & Turinek, M., (2011). Ecological impact of wheat and spelt production under industrial and alternative farming systems. *Renewable Agriculture and Food Systems, 27*(3), 242-250. DOI:10.1017/S1742170511000354
7. Canakci, M., & Akinci, I., (2006). Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy, 31*(8-9), 1243-1256. https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.05.021
8. Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., & Ozmerzi, A., (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya region, Turkey. *Energy Conversion and Management, 46*(4), 655-666. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.04.008
9. Cetin, B., & Vardar, A., (2008). An economic analysis of energy requirements and input costs for tomato production in Turkey. *Renewable Energy, 33*(3), 428-433. https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.03.008
10. Fallahpour, F., Aminghafouri, A., Behbahani, A.G., & Bannayan, M., (2012). The environmental impact assessment of wheat and barley production by using life cycle assessment (LCA) methodology. *Environment, Development and Sustainability, 14*(6), 979-992. DOI:10.1007/s10668-012-9367-3
11. Fang, K., Heijungs, R., & de Snoo, G.R., (2014). Theoretical exploration for the combination of the ecological, energy, carbon, and water footprints: Overview of a footprint family. *Ecological Indicators, 36*, 508-518. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.08.017
12. Feyzbakhsh, M.T., & Soltani, A., (2013). Energy flow and global warming potential of corn farm (Gorgan city). *Journal of Crop Production (EJCP), 6*(3), 89-107. (In Persian with English Summary). 20.1001.1.2008739.1392.6.3.6.6
13. Solís-Guzmán, J., Marrero, M., & Ramírez-de-Arellano, A., (2013). Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain). *Ecological Indicators, 25*, 239-249. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.10.008
14. Kaltsas, A.M., Mamolos, A.P., Tsatsarelis, C.A., Nanos, G.D., & Kalburtji, K.L., (2007). Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 122*(2), 243-251. DOI:10.1016/j.agee.2007.01.017
15. Kissinger, M., & Gottlieb, D., (2012). From global to place oriented hectares—The case of Israel's wheat ecological footprint and its implications for sustainable resource supply. *Ecological Indicators, 16*, 51-57. DOI:10.1016/j.ecolind.2011.03.012

16. Naderi Mahdei, K., Bahrami, A., Aazami, M., & Sheklabadi, M., (2015). Assessment of agricultural farming systems sustainability in Hamedan province using ecological footprint analysis (Case study: irrigated wheat). *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST), 17*, 1409-1420.
17. Ozkan, B., Akcaoz, H., & Fert, C., (2004). Energyinput–output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy, 29*(1), 39-51. https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00135-6
18. Pilevar, A.R., Matinfar, H.R., Sohrabi, A., & Sarmadian, F., (2020). Integrated fuzzy, AHP, and GIS techniques for land suitability assessment in semi-arid regions for wheat and maize farming. *Ecological Indicators, 110*, 105887. DOI:10.1016/j.ecolind.2019.105887
19. Rathke, G.W., & Diepenbrock, W., (2006). Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *European Journal of Agronomy, 24*(1), 35-44. DOI:10.1016/j.eja.2005.04.003
20. Rees, W.E., & Wackernagel, M., (1999). Monetary analysis: Turning a blind eye on sustainability. *Ecological Economics, 29*(1), 47-52.
21. Rezaei, P., Naderi Mahdei, K., Karimi, S., & Shanazi, K., (2019). Environmental sustainability assessment of farming system using ecological footprint analysis (Case study: potato and cucumber cultivation in Sofalgaran district of Bahar county). *Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 29*(2). (In Persian with English Summary)
22. Sarkar, D., Kar, S.K., Chattopadhyay, A., Rakshit, A., Tripathi, V.K., Dubey, P.K., & Abhilash, P.C., (2020). Low input sustainable agriculture: A viable climate-smart option for boosting food production in a warming world. *Ecological Indicators, 115*, 106412. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106412
23. Sarkodie, S.A., Strezov, V., Weldekidan, H., Asamoah, E.F., Owusu, P.A., & Doyi, I.N.Y., (2019). Environmental sustainability assessment using dynamic autoregressive-distributed lag simulations-nexus between greenhouse gas emissions, biomass energy, food, and economic growth. *Science of the Total Environment, 668*, 318-332. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.432
24. Silalertruksa, T., & Gheewala, S.H., (2018). Land-water-energy nexus of sugarcane production in Thailand. *Journal of Cleaner Production, 182*, 521-528. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618303913
25. Strapatsa, A.V., Nanos, G.D., & Tsatsarelis, C.A., (2006). Energy flow for integrated apple production in Greece. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 116*(3-4), 176-180. DOI:10.1016/j.agee.2006.02.003
26. Streimikis, J., & Baležentis, T., (2020). Agricultural sustainability assessment framework integrating sustainable development goals and interlinked priorities of environmental, climate, and agriculture policies. *Sustainable Development, 28*(6), 1702-1712. https://doi.org/10.1002/sd.2118
27. Tabatabaeefar, A., Emamzadeh, H., Varnamkhasti, M.G., Rahimizadeh, R., & Karimi, M., (2009). Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy, 34*(1), 41-45. DOI:10.1016/j.energy.2008.09.023
28. Talukder, B., Blay-Palmer, A., & Hipel, K.W., (2020). Towards complexity of agricultural sustainability assessment: Main issues and concerns. *Environmental and Sustainability Indicators, 6*, 100038. https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100038
29. Tarazkar, M.H., Dehbidi, N., & Shokoohi, Z., (2019). Estimating the ecological footprint of agricultural production in D-8 Islamic countries. *Journal of Environmental Sciences, 16*(4), 17-32. (In Persian with English Summary)
30. Tipi, T., Cetin, B., & Vardar, A., (2009). An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. *Journal of Food, Agriculture & Environment, 7*(2), 352-356.
31. Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., & Jaggard, K., (2005). An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems, 85*(2), 101. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.07.015

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

Research Article
Vol. 15, No. 4, 2024, p. 755-768

Investigating the Trend of Long-Term Changes in Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Watermelon (*Citrullus lanatus*) Water Footprints in Sistan and Baluchestan with Mann Kendall Trend Test

Vida Varnaseri Ghandali[1], Mahmoud Ramroudi[2*], Fatemeh Karandish[3], Mohammad Galavi[4] and Tohid Aligholinia[5]

1- Ph.D. Student of Agroecology, University of Zabol, Zabol, Iran.
2- Associate Professor of Agronomy Department, University of Zabol, Zabol, Iran.
3- Associate Professor, Water Engineering Department, University of Zabol, Zabol, Iran.
4- Professor of Agronomy Department, University of Zabol, Zabol, Iran.
5- Ph.D. Graduated Student, Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
(*- Corresponding Author Email: mramroudi42@uoz.ac.ir)

Received: 08-01-2022
Revised: 06-02-2022
Accepted: 12-02-2022
Available Online: 25-01-2021

How to cite this article:
Varnaseri Ghandali, V., Ramroudi, M., Karandish, F., Galavi, M., &, Aligholinia, T. (2024). Investigating the trend of long-term changes in wheat (*Triticum aestivum* L.) and Watermelon (*Citrullus lanatus*) water footprints in Sistan and Baluchestan with Mann Kendall Trend Test. *Journal of Agroecology*, *15*(4), 755-768. (in Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/agry.2022.74569.1088

Introduction

One of the main problems in arid and semi-arid regions of the country is the lack of water for irrigating agricultural products and other uses. Sistan and Baluchestan provinces is considered to be one of the arid and semi-arid regions in Iran that are facing water shortages. The present study evaluated the trend of changes in water footprint of two crops, wheat and watermelon, as the main crops in Sistan and Baluchestan province. In this way, the changes in water footprint in the two components of blue and green water products and the cause of these changes under the influence of various factors will be investigated.

Materials and Methods

The present study aimed to evaluate the trend of changes in the water footprint of two crops that is wheat and watermelon, as the main crops in Sistan and Baluchestan province. In this way, the changes in water footprint in the two components of water and green water products and the cause of these changes under the influence of various factors will be investigated. For this purpose, first, the water footprint of these two products were investigated in all cities where they were cultivated in two sections: blue and green water footprint in a 30-years' time span from 1978 to 2017. Then, by using Mann Kendall Trend Test, the trend of long-term changes was investigated. Water footprint calculations were performed through Cropwat and aqua crop software and, finally, according to the blue and green water footprint formula in Excel.

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https:// DOI: 10.22067/agry.2022.74569.1088

Results and Discussion

The results have indicated that the trend of changes in the water footprint of wheat has been increasing in Sarbaz and Iranshahr. As for watermelon, this trend has also been increasing in Zahedan and Konarak, mainly due to reduced rainfall and yields. The average water footprint of wheat and watermelon in Sistan and Baluchestan province has been reported to be 2134.9 and 318.1, respectively. Moreover, the share of blue and green water for two crops, wheat and watermelon has been reported to be 1773, 361.9 and 291.7, 26.5, respectively. The results obtained in this study are consistent with Karandish's research (Kardashian, 2018). The 30-year trend of Mann Kendall method calculated water footprint in three sections :blue, green, and total water, as well as for yield and rainfall. The results of trend finding for both wheat and watermelon at 95 and 99% levels showed that the yield of watermelon in Nikshahr, Chabahar, and Khash counties had an increasing trend, and this reduced the blue water footprint and consequently reduced the total water footprint of the crop. Wheat crop is a more effective factor, and with the changes in its 30-year trend, the water footprint of the crop, especially its green water footprint, has been affected. In Zabol, Iranshahr, and Zahedan stations, this issue is quite evident, and with the decrease in rainfall trend, the green water footprint of the crop has decreased.

Conclusion

The results show more water footprint of wheat than watermelon due to the high yield of watermelon versus wheat. In comparing the green and blue water footprints of the crops, the results show a greater share of green water footprints in the wheat crop than in the watermelon crop, which is also due to the length of the growing season and the date of cultivation and harvest of wheat and more use of rainwater resources. Evaluating the change with the Mann Kendall Trend Test indicates an increase in yield and a decrease in rainfall in the 30 years studied in two places, which has increased the blue water footprint and reduced the green water footprint of crops.

Acknowledgments

The corresponding author gratefully Acknowledges the financial support from the University of Zabol (Grant No. 9719-21). We would like to thank the anonymous reviewer for very helpful comments and suggestions on the manuscript.

Keywords: Blue water, Green water, Sarbaz, Water shortage, Konarak

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ۷٦۸-۷۵۵

بررسی روند تغییرات بلندمدت ردپای آب در محصول گندم (*Triticum aestivum* L.) و هندوانه (*Citrullus lanatus*) در استان سیستان و بلوچستان

ویدا ورناصری قندعلی[۱]، محمود رمرودی[۲*]، فاطمه کاراندیش[۳]، محمد گلوی[٤] و توحید علیقلی‌نیا[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳

چکیده:

یکی از مشکلات اساسی مناطق خشک و نیمه خشک کشور، کمبود آب برای آبیاری محصولات کشاورزی و دیگر مصارف است. استان سیستان و بلوچستان یکی استان‌هایی است که جزو مناطق خشک و نیمه خشک کشور محسوب می‌شود که با مشکل کم‌آبی مواجه است. هدف این پژوهش، ارزیابی روند تغییرات ردپای آب دو محصول گندم (*Triticum aestivum* L.) و هندوانه (*Citrullus lanatus*) به‌عنوان عمده‌ترین محصولات مورد کشت در استان سیستان و بلوچستان می‌باشد. برای این منظور، ابتدا ردپای آب این دو محصول در تمامی شهرستان‌هایی که کشت می‌شد، در دو جز ردپای آب آبی و آب سبز به‌صورت ۳۰ ساله از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶ محاسبه شده و سپس با روش روندیابی منکندال، روند تغییرات بلندمدت آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، روند تغییرات ردپای آب گندم در شهرستان‌های سرباز و ایرانشهر و هندوانه در شهرستان‌های زاهدان و کنارک افزایشی بوده که این عمدتاً به‌دلیل کاهش بارندگی و کاهش عملکرد می‌باشد. متوسط ردپای آب گندم و هندوانه در استان به‌ترتیب ۲۱۳۴/۹ و ۳۱۸/۱ مترمکعب بر تن به‌دست آمد که سهم آب آبی و آب سبز به‌ترتیب برای دو محصول گندم و هندوانه ۱۷۷۳، ۳۶۱/۹، ۲۹۱/۷ و ۲۶/۵ مترمکعب بر تن به‌دست آمد. در نتیجه، محصولاتی با عملکرد و بهره‌وری پایین و ردپای آب کل بالا برای منطقه مناسب نیست که لازم است در تعیین الگوی کشت منطقه لحاظ گردند.

واژه‌های کلیدی: آب آبی، آب سبز، سرباز، کم‌آبی، کنارک

مقدمه

مشکلات کم‌آبی به‌خصوص کمبود آب شیرین در مناطق دچار بحران، تنها یک مسئله ملی برای این کشورها نیست، بلکه یک موضوع جهانی است که اثرات ناشی از آن در درازمدت می‌تواند کشورها را دچار چالش کرده و امنیت غذایی را تهدید کند (Karadish & Šimůnek, 2019;& Šimůnek, 2018 ;). با این مشکلات، یکی از اهداف بلندمدت مدیریت راهبردی آب کشورها، تعادل برقرار کردن بین عرضه و تقاضا آب و منابع آب موجود با کمترین هزینه ممکن می‌باشد. برای پاسخگویی به نیاز روزافزون تقاضا آب در کشور، می‌توان به توسعه منابع آبی جدید شامل بهره‌برداری بهینه از منابع آبی باقی‌مانده، استفاده مجدد از فاضلاب،

۱- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳- دانشیار گروه مهندسی آبیاری دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۴- استاد گروه زراعت دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۵- دانش آموخته گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: mramroudi42@uoz.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2022.74569.1088

شیرین کردن آب‌های شور، افزایش ظرفیت تولید منابع موجود، در نظر گرفتن راهبردهای صرفه‌جویی آب در بخش‌های مختلف اقتصادی و توسعه روش‌های مدیریت کارآمد جدید اشاره کرد (Aligholinia et al., 2021).

استان سیستان و بلوچستان از نظر وسعت، جزو استان‌های پهناور ایران می‌باشد که وسعت این استان معادل ۱۸۱۷۸۵ کیلومترمربع می باشد. به استناد گزارش سازمان آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان میانگین بارندگی در این استان حدود ۵۲/۳ میلی‌متر در سال است و به‌همین خاطر جزو مناطق اقلیمی گرم و خشک محسوب می‌شود. میانگین حداقل دمای سالانه این استان ۱۲ درجه و میانگین حداکثر دمای سالانه ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و میزان حداکثر دمای مطلق در تابستان در شهرستان سرباز به ۵۱/۷ درجه سانتی‌گراد رسید (Salari et al., 2014). بخش کشاورزی در این استان، مقدار قابل توجهی از منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی را جهت تولید محصولات کشاورزی مصرف می‌کند و بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در این استان است (Dahmardeh Ghaleno et al., 2017). بنابراین، بررسی حجم آب واقعی که جهت تولیدات محصولات کشاورزی در این استان به‌کار گرفته شده است، ضروری می‌باشد (Hekmatnia et al., 2020).

بیش از دو دهه است که جهان پی برده است که در مدیریت منابع آب باید بیشتر به مدیریت تقاضا توجه کرد تا مدیریت عرضه کشاورزی مبتنی بر آبیاری در سراسر جهان برای رفع تقاضای روزافزون غذا، به‌سرعت در حال افزایش است (Yao et al., 2017). ایران در سال ۲۰۰۴، نزدیک به ۶۸ درصد کل منابع آب قابل تجدید مورد استفاده قرار داد که از این مقدار، ۹۲/۲ درصد آن به بخش کشاورزی اختصاص داده شد، درحالی‌که بخش‌های شهری و صنعتی به‌ترتیب ۶/۶ و ۱/۲ درصد را مصرف کردند (AQUASTAT, 2016). بدین ترتیب، دانشمندان مدیریت تلفیقی آب را مطرح نمودند. مدیریت تلفیقی دو سیاست کلی و یک هدف اصلی دارد. سیاست‌های مدیریت تلفیقی عبارتند از: ۱- با آب باید به‌عنوان یک کالای اقتصادی- اجتماعی و زیست‌محیطی برخورد شود، ۲- سیاست‌ها و گزینه‌هایی که مدیریت آب را هدایت می‌کند باید در چهارچوبی یکپارچه تحلیل شوند. هدف اصلی مدیریت تلفیقی این است که به‌واسطه مدیریت تلفیقی آب، توسعه پایدار، کارآمد و عادلانه منابع آب حاصل شود. بنابراین، مبانی مدیریت تلفیقی بر پایه ترکیب‌پذیری مدیریت تأمین با مدیریت تقاضا استوار بوده که جنبه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی را در نظر می‌گیرد (Aligholinia et al., 2021).

تجارت و مبادله آب مجازی و ارزیابی ردپای آب یکی از راهکارهایی است که با مدیریت تلفیقی و کارآمد در جهت توسعه پایدار بین عرضه و تقاضای آب از طریق مبادلات محصولات آب‌بر به‌منظور کاهش تنش آبی در دنیا مطرح می‌باشد. کشورهای کم آب می‌توانند با دخالت دادن تجارت آب مجازی در سیاست‌های آبی، علاوه‌بر اینکه میزان دسترسی خود را به منابع آبی جهان افزایش دهند، از افزایش فشار بر منابع محدود خود نیز بکاهند. واردات مواد غذایی به‌منظور استفاده از منبع تجارت آب مجازی بخش‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست یک کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهد و با امنیت غذایی و فرهنگ کشورها ارتباط مستقیم دارد که در فرآیند تصمیم‌سازی باید در نظر گرفته شوند. لذا، کشورهای کم آب می‌توانند با توجه به شرایط، ظرفیت‌ها و نیازهای داخلی و همچنین ملاحظات امنیت غذایی خود، نقطه بهینه‌ای را برای میزان واردات مواد غذایی و کالاهای آب بر کشور بیابند (Aligholinia et al., 2020). اگرچه این راه حل موجب وابستگی کشورها شده و از خودکفایی آن‌ها می‌کاهد، امّا ضرورت تخصیص بهینه منابع محدود به‌ویژه منابع آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل در تولید محصولات کاملاً احساس می‌شود که لازمه آن ارائه الگوی کشت مدیریتی مناسب بر اساس آب مجازی و شاخص ردپای آب محصولات مختلف کشاورزی در اقلیم‌های مختلف می‌باشد.

شاخص ردپای آب در سال‌های اخیر به‌طور گسترده‌ای توسط متخصصین در نقاط مختلف دنیا استفاده شده و محققان بسیاری میزان آب واقعی محصولات مختلف نظیر گندم (Hoekstra & Chapagin, 2007; Salari et al., 2014)، چای (*Camellia sinensis* L.) (Jefferies et al., 2012)، برنج (*Oryza sativa* L.) (Chapagin & Hoekstra, 2012)، پنبه (*Gossypium hirsutum* cv. siokra) (Chico et al., 2013)، انگور (*Vitis vinifera* L.) (Ene et al., 2013)، ذرت (*Zea mays* L.) (Nana et al., 2014) و سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) (Herath et al., 2014) را مورد بررسی قرار دادند. هواکسترا و هانگ (Hoekstra & Hung, 2005) در تحقیقی، ردپای آب کشورهای مختلف از جمله ایران را برای دوره (۱۹۹۹-۱۹۹۵)

برآورد نمودند. مطابق تحقیق آن‌ها، بیشترین ردپای آب (حدود ۲۰۰۰ مترمکعب در سال به‌ازای هر نفر) برای کشورهای بلژیک و هلند و کمترین ردپای آب (در حدود ۵۰۰ مترمکعب در سال به‌ازای هر نفر) برای کشورهای چین، هند و اندونزی برآورد شده است. ردپای آب ایران، به‌ازای هر نفر ۱۴۵۷ مترمکعب در سال، خودکفایی آبی کشور ۹۳/۶ درصد و وابستگی به منابع آب خارجی ۶/۴ درصد محاسبه شده است (۶/۴ درصد از پتانسیل منابع آب کشور به‌صورت وارداتی از طریق محصولات کشاورزی و صنعتی و ... انجام می‌گیرد) (Hoekstra & Hung, 2005). کاراندیش و هوکسترا (Karandish & Hoekstra, 2017) بر اساس مدل AquaCrop به برآورد ردپای آب آبی و آب سبز مرتبط با تولید و مصرف ۲۶ محصول در هر سال (۲۰۱۰-۱۹۸۰) و به‌طور روزانه برای ۳۰ استان کشور پرداختند. آن‌ها اظهار داشتند در سال ۲۰۱۰، ۲۶ درصد کل آب مصرف شده در منطقه نیمه خشک، صرف تولید محصولات برای صادرات به سایر مناطق کشور (عمدتاً غلات) و یا خارج از کشور (عمدتاً میوه‌ها و آجیل‌ها) گردید. در نتایج پژوهش کاراندیش (Karandish, 2018)، نشان داده شده است که پنج استان کشور از دیدگاه مصرف و سه استان از دیدگاه تولید، ردپای آب گندم فراتر از حجم منابع آبی تجدیدپذیر است. او اظهار داشت که با پایه‌گذاری سیاست‌های صحیح، امکان دستیابی به محیط زیست پایدار در مناطق تولیدکننده و مصرف‌کننده گندم وجود خواهد داشت.

با توجه به قرارگیری ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهانی و همچنین پایین بودن سطح کاربرد تکنولوژی در بخش کشاورزی، بالا بودن ردپای آب ملی نسبت به میانگین جهانی (حدود ۱۰۰۰ مترمکعب در سال به‌ازای هر نفر) قابل حدس و پیش‌بینی است. از طرفی، بررسی وضعیت موجود کشاورزی نیز بیانگر آن است که با وجود پتانسیل افزایش تولید محصولات کشاورزی، به‌دلیل فقدان سیستم مدیریتی صحیح امکان استفاده بهینه از منابع موجود آب و خاک میسر نشده است. در این راستا، بررسی روند تغییرات بلندمدت عمده محصولات کشت شده در منطقه خشک و نیمه خشک ایران، به‌خصوص سیستان و بلوچستان لازم و ضروری است. باتوجه به اینکه تاکنون مطالعه جامعی در زمینه بررسی روند تغییرات ردپای آب محصولات به‌صورت بلندمدت در ایران صورت نگرفته است، هدف از این تحقیق ارزیابی این موضوع برای دو محصول گندم و هندوانه در استان سیستان بلوچستان به‌صورت ۳۰ ساله می‌باشد تا بدین طریق به بررسی تغییرات ردپای آب در دو جز آب آبی و آب سبز محصولات و علت این تغییرات تحت تأثیر عوامل مختلف پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

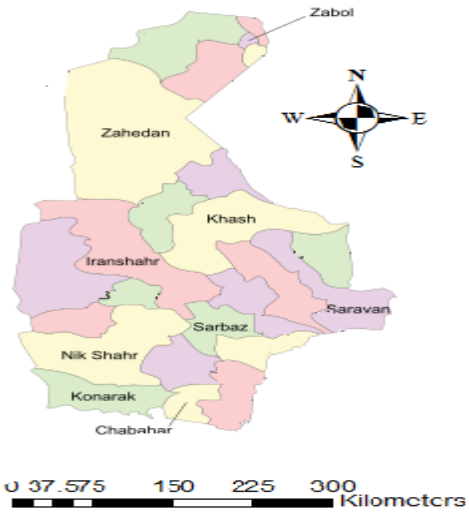
از آنجایی‌که کشاورزی عمده‌ترین مصرف‌کننده بخش آب است. لذا، محصولاتی که از کشاورزی تولید می‌شوند، اغلب دارای ردپای آب قابل توجهی هستند. این بخش به بحث در مورد جزئیات ارزیابی روند ردپای آب دو محصول گندم و هندوانه می‌پردازد. در این تحقیق برای بررسی ردپای آب محصولات در استان سیستان و بلوچستان، ابتدا شهرستان‌هایی که در آن‌ها این محصولات به‌صورت عمده و غالب کشت می‌شوند، انتخاب گردیدند. در همین راستا، ۱۰ ایستگاه در هر یک شهرستان‌های سیستان و بلوچستان انتخاب شد و از متوسط دوره آماری مشترک ۳۰ ساله (۲۰۱۷-۱۹۷۸) داده‌های آماری هواشناسی و کشاورزی آن‌ها استفاده گردید. لازم به ذکر است که داده‌های هواشناسی مورد نیاز تحقیق، شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، درصد رطوبت نسبی، ساعت آفتابی، سرعت باد و بارندگی در مقیاس روزانه و ماهانه از سازمان هواشناسی کشور تهیه شده و داده‌های مربوط به مشخصات گیاهی شامل طول دوره رشد، ارتفاع بوته، عملکرد محصولات، عمق ریشه و ضریب گیاهی از آمارنامه‌های کشاورزی، سند ملی کشور و آمارنامه‌های سازمان خواروبار جهانی (FAO)[1] استخراج گردید (FAO, 2010). شکل ۱، موقعیت ایستگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه و جداول ۱ و ۲، به‌ترتیب مشخصات آماری هواشناسی استان سیستان و بلوچستان و مشخصات گیاهی محصولات زراعی مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

محاسبات ردپای آب

محاسبات ردپای آب از طریق نرم‌افزار کراپ وات و اکواکراپ و در نهایت، اکسل انجام شد، تودرویک و همکاران (Todorovic et al., 2009) به مقایسه سه مدل AquaCrop، CropSyst و WOFOST در شبیه‌سازی رشد و توسعه آفتابگردان تحت رژیم‌های آبی متفاوت در جنوب ایتالیا پرداختند. نتایج آن‌ها، تفاوت قابل توجهی بین نتایج شبیه‌سازی این سه مدل نشان داد، امّا نهایتاً مدل AquaCrop به‌دلیل پارامترهای ورودی کمتر، در شرایطی که

1- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

اطلاعات کمتری در دسترس می‌باشد، توصیه شد. آزمایشات متعـددی در رابطه با دقت مدل Aqua Crop برای گیاهان مختلـف در منـاطق مختلف جهان انجام شده است.



شکل ۱- محدوده مطالعاتی استان سیستان و بلوچستان
Fig. 1- Study area of Sistan and Baluchestan province

جدول ۱- ویژگی‌های آب و هوایی منطقه مورد مطالعه
Table 1- The 30-year average climate traits at the counties

شهرستان City	دمای حداقل Minimum temperature (°C)	دمای حداکثر Maximum temperature(°C)	بارش سالانه Average annual precipitation (mm)	سرعت باد Wind speed ($m.s^{-1}$)	رطوبت نسبی Relative humidity	ساعت آفتابی Sunshine
زاهدان Zahedan	10.97	27.22	72.58	5.84	29.53	9.28
زابل Zabol	15.29	30.27	51.16	8.65	34.99	8.72
زهک Zahak	15.59	30.64	28.74	6.59	9.27	46.12
سرباز Sarbaz	17.51	32.10	166.00	5.40	39.15	9.50
سراوان Saravan	14.88	29.89	103.51	4.95	28.36	9.40
خاش Khash	12.76	27.99	143.88	5.48	28.41	9.40
ایرانشهر Iranshahr	20.34	34.32	103.65	4.41	28.31	9.23
کنارک Konarak	20.76	32.65	90.31	4.05	62.80	8.53
چا بهار Chabahar	23.43	29.54	112.00	4.09	74.34	8.15
نیک شهر Nikshahr	21.70	34.80	159.00	9.60	37.00	9.50

این مدل با استفاده از داده‌های تجربی شش فصل زراعی روی ذرت در دانشگاه کالیفرنیا مورد ارزیابی قرار گرفت و نشان داده شد، زیست‌توده و عملکرد محصول در شرایط مختلف تراکم بوته، تاریخ کاشت و نیاز آبی با دقت مناسبی شبیه‌سازی می‌شود (Hsiao et al., 2009). همچنین این مدل برای شبیه‌سازی زیست‌توده و عملکرد محصول جو در شمال اتیوپی مورد استفاده قرار گرفت و نتایج نشان داد که مدل از دقت خوبی برخوردار است (Araya et al., 2010). شبیه‌سازی روزانه رشد گیاه از کاشت تا برداشت برای محصولات مورد بررسی پس از واسنجی و صحت‌سنجی اکواکراپ انجام شد. سپس با استفاده از خروجی‌های نرم‌افزار که شامل اجزای بیلان است با توجه به فرمول ذیل، ردپای آب آبی و ردپای آب سبز محاسبه گردید.

ردپای آب هر محصول از حاصل جمع دو جزء آب آبی و آب سبز به‌دست آمد (معادله ۱).

$$WF_i = WF_{i\,green} + WF_{i\,blue} \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن WF_i: ردپای آب کل محصول i است، WF_{blue}: ردپای آب آبی است که برای آب‌های مورد استفاده از منابع سطحی و زیرزمینی محاسبه گردید، WF_{green}:ردپای آب سبز می‌باشد که شامل حجمی از آب باران مؤثر است که به‌صورت رطوبت در خاک ذخیره می‌شود.

در معادله ۱، ردپای آب به‌عنوان واحدی از محصول بیان می‌شود، یعنی حجم آب در جرم محصول که معمولاً برای بیان روند ردپای آب در بخش کشاورزی از عنوان تن در هکتار استفاده می‌شود. برای این منظور، از حاصل تقسیم شدن ردپای آب هر محصول بر مقدار عملکرد آن استفاده گردید (معادله ۲).

$$WF = WF_i/Y \quad \text{معادله (۲)}$$

ردپای آب هر جزء نیز طبق معادله‌های ۳ تا ۵ به‌دست می‌آید.

$$WF_{i\,green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad \text{معادله (۳)}$$

$$WF_{i\,blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \quad \text{معادله (۴)}$$

که در معادله‌های ۳ و ۴، CWU_{blue} و CWU_{green}: به‌ترتیب جزء آب سبز و جزء آب آبی محصول برحسب (متر مکعب در هکتار) و Y: عملکرد گیاهان زراعی برحسب (تن بر هکتار) می‌باشد.

اجزا مصرف آب محصول (CWU) سبز و آبی نیز از مجموع تبخیر–تعرق روزانه در تمام دوره رشد یک گیاه به‌صورت معادله ۶ و ۷ محاسبه گردید.

$$CWU_{green} = 10 * \sum_{d=1}^{lgp} ETgreen \quad \text{معادله (۵)}$$

$$CWU_{blue} = 10 * \sum_{d=1}^{lgp} ETblue \quad \text{معادله (۶)}$$

که در آن، ET_{green}: نشان‌دهنده تبخیر–تعرق آب سبز (تبخیر–تعرق ناشی از آب باران مورد استفاده گیاه) و ET_{blue}: نشان‌دهنده تبخیر- تعرق آب آبی (تبخیر– تعرق ناشی از آب آبیاری مورد استفاده گیاه) برحسب (میلی‌متر در سال) می‌باشند. عدد ۱۰ نیز به‌منظور تبدیل عمق آب در میلی‌متر به حجم آب در سطح زمین بر حسب متر مکعب در هکتار است. در معادله‌های ۶ و ۷، lgp: طول دوره رشد در واحد روز است. بدین ترتیب، منظور از مجموع داده‌های تبخیر– تعرق در طول دوره رشد یعنی محاسبه مجموع تبخیر– تعرق روزانه گیاه از روز اول کاشت گیاه تا روز برداشت آن می‌باشد. جزء آبی مورد استفاده گیاه (CWU blue) که از معادله ۷ به‌دست می‌آید، مقدار آبی که به‌صورت مستقیم (نیاز آبی گیاه) از طریق آبیاری مورد استفاده گیاه است، را نشان می‌دهد. این در حالی است که هنگام آبیاری، مقدار آب نیز به‌صورت غیرمستقیم مورد مصرف قرار می‌گیرد که این مصارف غیرمستقیم آبشویی خاک، آبیاری‌هایی که به‌دلیل جلوگیری از سرمازدگی و بیش‌آبیاری‌هایی که به‌دلیل راندمان پایین آبیاری مصرف می‌شود، را شامل می‌گردد. گارسیا موریلو و همکاران (Garcia Morrillo et al., 2015)، با توجه به مفاهیم و توضیحات ذکر شده، به‌منظور محاسبه جزء آبی واقعی مورد استفاده در تولید محصولات معادله ۷ را به‌صورت زیر ارائه دادند.

$$CWA\,blue = WAg + \sum_{i=1}^{n} WAi \quad \text{معادله (۷)}$$

که در آن، Wag: مقدار آب مستقیم مصرفی (بر اساس نیاز آبی) و WAi: مقدار آبی است که به‌صورت غیرمستقیم (آبشویی، راندمان کاربرد پایین، جلوگیری از سرمازدگی و ...) برحسب (متر مکعب در هکتار) مورد استفاده قرار گرفت.

به‌منظور محاسبه تبخیر– تعرق روزانه نیز از معادله پیشنهادی آلن و همکاران (Allen et al., 1998) مطابق معادله ۸ استفاده گردید.

$$ET = Ks[t] * Kc[t] * ET0[t] \quad \text{معادله (۸)}$$

که در آن، Kc[t]: ضریب گیاهی، Ks[t]: عامل بدون بعد کاهش تعرق که وابسته به آب قابل‌دسترس در خاک می‌باشد و ET0 [t]: تبخیر– تعرق مرجع می‌باشد. Ks[t] بر اساس تابع روزانه حداکثر مقدار واقعی رطوبت قابل‌دسترس در ناحیه ریشه خاک قابل‌محاسبه است (معادله ۸).

معادله (۹)

$$Ks[t]=\begin{cases}\frac{S[t]}{(1-p)*Smax[t]} & , \ S[t] < (1-p)*Smax[t] \\ 1 & , \ other\ wise\end{cases}$$

که در آن، Smax[t]: ماکزیمم رطوبت قابل‌دسترس در ناحیه ریشه خاک در حالت ظرفیت زراعی زمین و p: کسری از Smax است که در آن‌یک محصول می‌تواند آب موردنیاز خود را بدون تنش از منطقه ریشه جذب نماید. تبخیر- تعرق (ET0) یک منطقه را می‌توان با اندازه‌گیری مستقیم و یا با تخمین با استفاده از یک مدل یا فرمول تجربی محاسبه نمود. ازآنجایی‌که اندازه‌گیری مستقیم تبخیر- تعرق کاری پرهزینه و غیرمعمول می‌باشد، در اکثر موارد از روش‌های غیرمستقیم استفاده شد. در این تحقیق، ۱۳ روش غیرمستقیم برآورد تبخیر- تعرق مورد محاسبه قرار گرفت و در نهایت، با استفاده از داده‌های لایسیمتری بهترین روش برای هر منطقه انتخاب گردید و مبنا محاسبات قرار گرفت.

پس از محاسبه تبخیر- تعرق، نیاز آبی محصول با استفاده از تبخیر- تعرق، ضریب گیاهی و بارندگی مؤثر برآورد گشت. معادله برآورد نیاز آبی محصول نیز به‌صورت معادله ۱۱ می‌باشد.

معادله (۱۰)

$$Irr\ Req = \sum_{d=1}^{lgp}((ETo * Kc) - Eff\ Rain)$$

که در آن، Irr Req: نیاز آبیاری برحسب periods mm بوده و Kc: ضریب گیاهی است که مقدار آن بر اساس خصوصیات محصول، تاریخ کشت، رشد محصول، طول فصل رشد و شرایط اقلیمی تغییر می‌کند (Doorenbos, 1984) و Eff Rain: نیز بارندگی مؤثر بوده که برای محاسبه آن از روش USDA استفاده گردید. در این روش، زمانی که بارندگی افزایش پیدا می‌کند، مقدار کارایی آن کاهش خواهد یافت (Yarahmadi, 2003). روش پیشنهادی USDA برای محاسبه بارندگی مؤثر به‌صورت معادله ۱۱ می‌باشد.

معادله (۱۱)

$$Eff\ Rain = \begin{cases}\frac{Ptot(125-0.2\ Ptot)}{125} & , \ Ptot \le 250\ mm \\ 125 + 0.1\ Ptot & , \ other\ wise\end{cases}$$

که در آن، Ptot: کل بارندگی و Eff Rain: بارندگی مؤثر برحسب میلی‌متر می‌باشند.

در نهایت، تبخیر- تعرق آب سبز و آبی نیز با توجه به نیاز آبیاری، تبخیر- تعرق گیاهی و بارندگی مؤثر به‌ترتیب طبق معادله‌های ۱۲ و ۱۳ محاسبه شدند.

معادله (۱۲)

$$ET\ green = \begin{cases}ETc & , \ Irr\ Req = 0 \\ Eff\ Rain & , \ other\ wise\end{cases}$$

معادله (۱۳)

$$ET\ blue = \begin{cases}0 & , \ Eff\ Rain \ge ETc \\ ETc - Eff\ Rain & , \ other\ wise\end{cases}$$

آزمون روند من‌کندال

این آزمون ابتدا توسط من (Mann, 1945) ارائه و سپس توسط کندال (Kandel, 1975) توسعه یافت و کاربرد آن توسط سازمان جهانی هواشناسی (۱۹۶۶) توصیه شده است. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از آن است (Turgay & Ercan, 2005). در این روش، داده‌ها به‌ترتیب زمان وقوع مرتب می‌شوند و هر داده (X_i) با تمام داده‌های بعد از خود (X_j) مقایسه می‌شود. مراحل انجام این آزمون به‌ترتیب زیر است:

معادله (۱۴)

$$S = \sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n} sign(x_i - x_j)$$

معادله (۱۵)

$$sign(x_i - x_j) = \begin{cases}1 & if & x_i > x_j \\ 0 & if & x_i = x_j \\ -1 & if & x_i < x_j\end{cases}$$

برای متغیرهای مستقل و دارای توزیع یکنواخت و بدون گره (دو یا چندین داده با مقادیر عددی مساوی) میانگین و واریانس پارامتر من کندال (S) به‌صورت معادله‌های ۱۶ و ۱۷ است:

معادله (۱۶)

$$E(S) = 0$$

معادله (۱۷)

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

که در آن، n: تعداد داده‌های سری مشاهدات است. اگر در سری مشاهدات داده‌های تکراری وجود داشته باشد مقدار واریانس از معادله ۱۸ محاسبه خواهد شد.

معادله (۱۸)

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{n}(i)(i-1)(2i+5)}{18}$$

که در آن، t_i: تعداد گره با ظرفیت i را نشان می‌دهد. برای مثال، در یک سری داده فقط سه عدد با مقادیر مساوی وجود داشته باشد یک گره با ظرفیت ۳ (t_3=1) وجود خواهد داشت.

اگر تعداد داده‌های یک سری بیش از ۱۰ عدد باشد، S از توزیع نرمال پیروی خواهد کرد و مقدار معیار آماری استاندارد (Z_s) به‌صورت معادله ۱۹ محاسبه خواهد شد.

معادله (۱۹)
$$Z_s = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{Var(s)}} & if \quad S > 0 \\ 0 & if \quad S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{Var(s)}} & if \quad S < 0 \end{cases}$$

بنابراین، در یک آزمون دو طرفه برای تشخیص روند در سطح اعتماد α، فرض صفر که دال بر نبود روند در سری مشاهدات است، رد خواهد شد، اگر مقدار Z_s بزرگ‌تر یا مساوی Z جدول باشد.

برای محاسبه آزمون روند، از نرم افزار Spss استفاده گردید.

نتایج و بحث

به‌منظور تحلیل تغییرات و ارزیابی روند تغییرات ردپای آب محصولات، ابتدا ردپای آب هردو محصول در دو جزء ردپای آب آبی و آب سبز و حاصل جمع آن‌ها به‌عنوان ردپای آب کل محاسبه شده و میانگین تغییرات ۳۰ ساله آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. جدول ۲ میانگین ردپای آب محصولات را برای هر شهرستان نشان می‌دهد. نتایج مربوط به ردپای آب در جدول ۲ شده است. ردپای آب نشان-دهنده میزان آب مصرف شده به‌ازای هر کیلوگرم محصول تولیدی به تفکیک منابع آب می‌باشد. متوسط ردپای آب آبی برای محصول گندم ۱۷۷۳ مترمکعب بر تن محاسبه شد. بدین معنی که برای تولید یک تن گندم در اقلیم آب و هوایی سیستان و بلوچستان به‌طور متوسط ۱۷۷۳ مترمکعب آب از منابع آب آبی مصرف شده است. بیشترین ردپای آب سبز در گندم مربوط به شهرستان خاش و کمترین مربوط به شهرستان زاهدان می‌باشد.

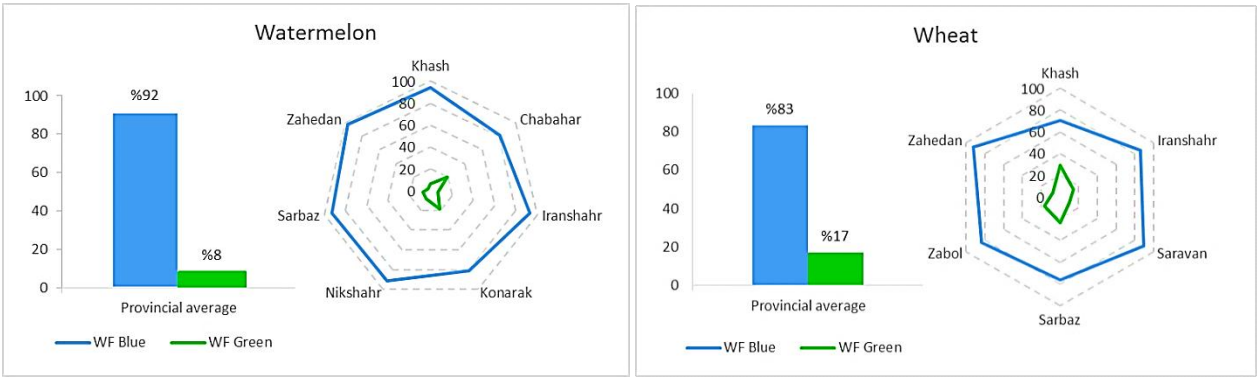
جدول ۲- میانگین ردپای آب گندم و هندوانه در شهرستان‌های سیستان و بلوچستان

Tabel 2- Average water footprint of wheat and watermelon in Sistan and Baluchestan cities

میانگین استان (Average)	Khash ($ton.m^{-3}$)	Chabahar ($ton.m^{-3}$)	Iranshahr ($ton.m^{-3}$)	Konarak ($ton.m^{-3}$)	Nikshahr ($ton.m^{-3}$)	Sarbaz ($ton.m^{-3}$)	Zahedan ($ton.m^{-3}$)	شهرستان City	محصول product
291.7	244.5	178.7	276.8	123.9	295.2	423.5	499.3	WF blue	هندوانه Watermelon
26.5	15.4	42.7	21.3	28.3	27.8	32.6	17.2	WF green	
318.1	259.8	221.3	298.1	152.2	323	456.1	516.5	WF total	
میانگین استان (Average)	*	**Khash**	**Iranshahr**	**Saravan**	**Sarbaz**	**Zabol**	**Zahedan**	**شهرستان City**	گندم Wheat
1773.0	*	1824.9	1385	1699.5	1133.6	2319.5	2275.4	WF blue	
361.9	*	754	233	193	352.9	458.8	179.6	WF green	
2134.9	*	2578.9	1618.1	1892.6	1486.5	2778.3	2455.1	WF total	

با توجه به نتایج جدول ۲ میزان ردپای آب گندم در همه شهرستان‌ها بیشتر از هندوانه است که علت این امر عملکرد بالای هندوانه در مقایسه با گندم می‌باشد. در مقایسه اجزای ردپای آب، ردپای آب آبی محصولات از ردپای آب سبز آن‌ها بیشتر می‌باشد و این نشان‌دهنده مصرف بیشتر این محصولات از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی (آب آبیاری) است. شکل ۲، سهم آب آبی و سبز هر یک از محصولات را در هر شهرستان بر اساس درصد نشان می‌دهد. سهم آب سبز در ردپای آب محصولات در محصول گندم بیشتر از هنداونه است (شکل ۲) که این موضوع به‌دلیل زمان کشت و استفاده بیشتر این محصول از نزولات آسمانی و بارندگی به‌جای آبیاری فاریاب می‌باشد. به‌طور متوسط، سهم آب آبی و آب سبز از ردپای آب کل محصول به‌ترتیب برای محصولات گندم ۸۳ و ۱۷ درصد برای هندوانه ۹۲ و ۸ درصد در استان سیستان و بلوچستان به‌دست آمد. بیشترین میزان ردپای آب آبی برای شهرستان زاهدان و ایرانشهر برای هر دو محصول گندم و هندوانه به‌دست آمد. بیشترین میزان ردپای آب سبز برای محصول هندوانه در شهرستان‌های خاش و چابهار و برای محصول گندم در خاش و سرباز به‌دست آمد، نتایج به‌دست آمده در این تحقیق با پژوهش کاراندیش (Karandish, 2018) و سالاری و همکاران (Salari et al., 2015) مطابقت دارد. همچنین نتایج تحقیق سالاری و همکاران (Salari et al., 2015)

نشان دادند آب سبز سهم ناچیزی در آبیاری محصول گندم در استان سیستان و بلوچستان دارد و حدوداً ۹۰/۸ درصد از آبیاری محصول گندم از طریق مصرف آب آبی انجام می‌شود. (Arabi et al., 2012; Hoekstra & Chapagin, 2007; Aligholinia et al, 2017) به نتایج مشابهی دست یافتند، همچنین آن‌ها بیان داشتند، بیشترین مقدار آب مصرفی مربوط به مصرف غلات می‌باشد.



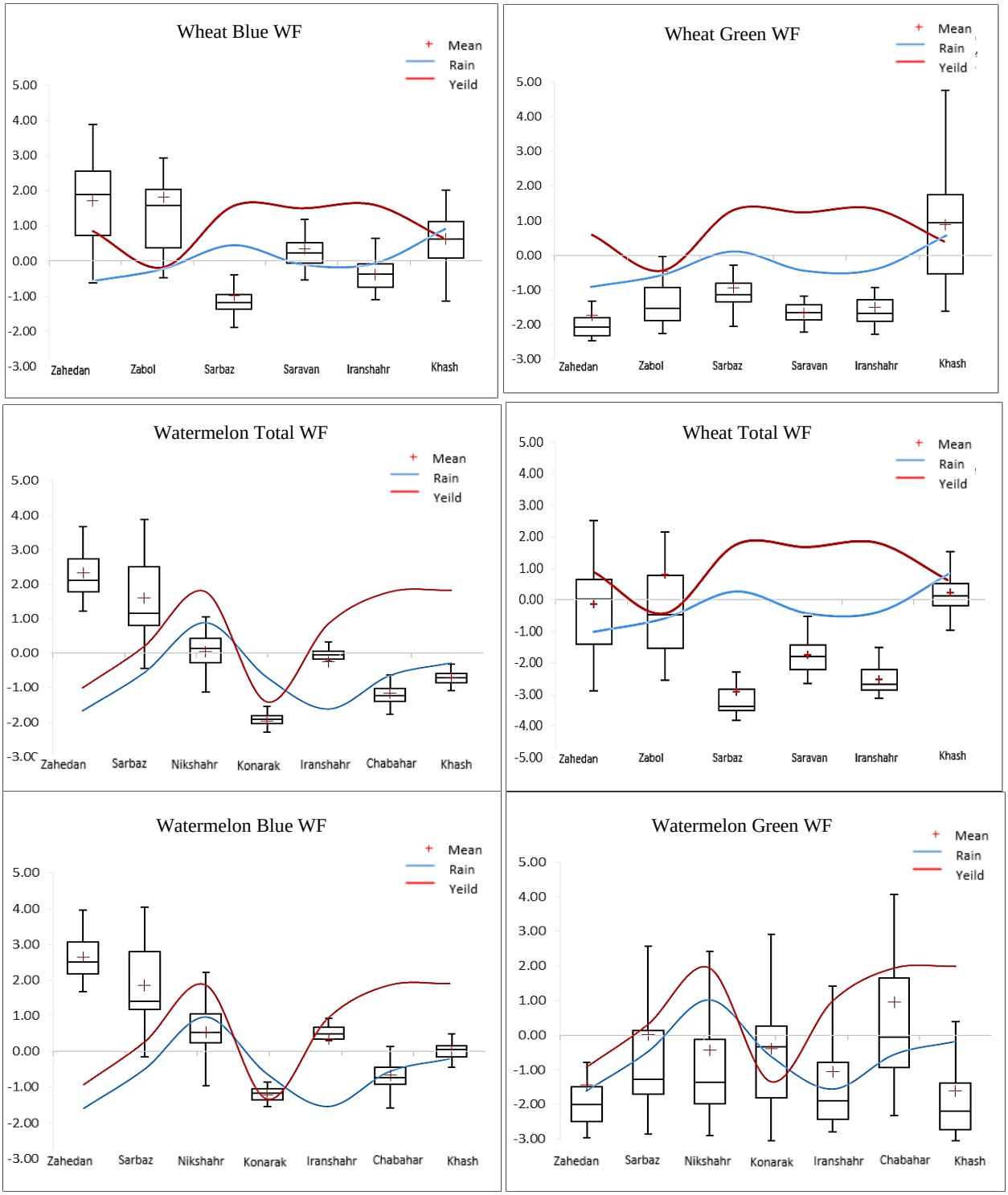
شکل ۲- سهم و درصد ردپای آب آبی و سبز گندم و هندوانه در شهرستان‌های سیستان و بلوچستان

Fig. 2- Share and percentage of blue and green water footprints of wheat and watermelon in Sistan and Baluchestan cities

به‌منظور بررسی بیشتر تغییرات ردپای آب و تأثیرات عملکرد و بارندگی در هر شهرستان بر آن، تغییرات هر یک از اجزای ردپای آب به‌صورت نمودار جعبه‌ای رسم شده و به‌منظور بررسی تأثیر بارندگی و عملکرد، واحدها بی بعد شده و به مقایسه همزمان این پارامترها پرداخته شده است. شکل‌های ۳ تأثیر متقابل تغییرات پارامترهای بارندگی و عملکرد را بر اجزای ردپای آب نشان می‌دهد. در واقع، همبستگی بین عملکرد و بارندگی محصول گندم در اکثر شهرستان‌ها تفاوت چندانی وجود نداشت، به‌استثنای شهرستان سرباز، اثر متقابل مثبت بین بارندگی و عملکرد مشاهده گشت. محصول هندوانه، شهرستان چابهار نیک‌شهر و خاش عملکرد و بارندگی اثر متقابل مثبت در ردپای آب آبی و سبز و کل داشتند. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان می‌دهد، عملکرد گندم و هندوانه در این شهرستان‌ها متأثر از آب آبی و سبز (مکمل در جهت آبیاری) می‌باشد.

ارزیابی شکل ۴ نشان‌دهنده روند معکوس بین ردپای آب سبز و ردپای آب آبی در اکثر شهرستان‌ها برای دو محصول هندوانه و گندم می‌باشد، به‌طوری‌که در هر شهرستانی که ردپای آب آبی بالاست، میزان ردپای آب سبز آن پایین بوده و در شهرستان‌هایی که ردپای آب آبی کم، میزان ردپای آب سبز بیشتر می‌باشد. با توجه به نمودارهای جعبه‌ای و تغییرات بارندگی و عملکرد می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات ردپای آب سبز در شهرستان‌ها عمدتاً تحت تأثیر بارندگی می‌باشد، به‌نحوی‌که با افزایش بارندگی در یک ایستگاه ردپای آب سبز گیاهان هم در آنجا افزایش داشته و با کاهش آن، شاهد کاهش ردپای آب سبز بوده است. با این حال، از تأثیر عملکرد در تغییرات ردپای گیاهان در شهرستان‌ها نمی‌شود، چشم‌پوشی کرد. این موضوع در شهرستان سراوان برای محصول گندم و در شهرستان ایرانشهر برای محصول هندوانه کاملاً مشهود است.

جهت بررسی روند تغییرات ۳۰ ساله از روندیابی منکندال استفاده شد. روند تغییرات ردپای آب در سه بخش آب آبی، سبز و کل و همچنین برای عملکرد و بارندگی مورد محاسبه قرار گرفت. شکل ۴ نتایج روندیابی را برای هر دو محصول گندم و هندوانه در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد، عملکرد هندوانه در شهرستان‌های نیکشهر، چابهار و خاش دارای روند افزایشی بوده و همین امر باعث کاهش ردپای آب آبی و به تبع آن کاهش ردپای آب کل محصول گردیده است. در محصول گندم، بارندگی عامل تأثیرگذارتر بوده و با تغییرات روند ۳۰ ساله آن، ردپای آب محصول به‌خصوص ردپای آب سبز آن تحت تأثیر قرار گرفته است. در ایستگاه‌های زابل، ایرانشهر و زاهدان این موضوع کاملاً مشهود بوده و با کاهش روند بارندگی، ردپای آب سبز محصول کاهش داشته است. همان‌طور که قبلا اشاره شد تأثیر متقابل عملکرد و بارندگی توأم باید بررسی گردد.

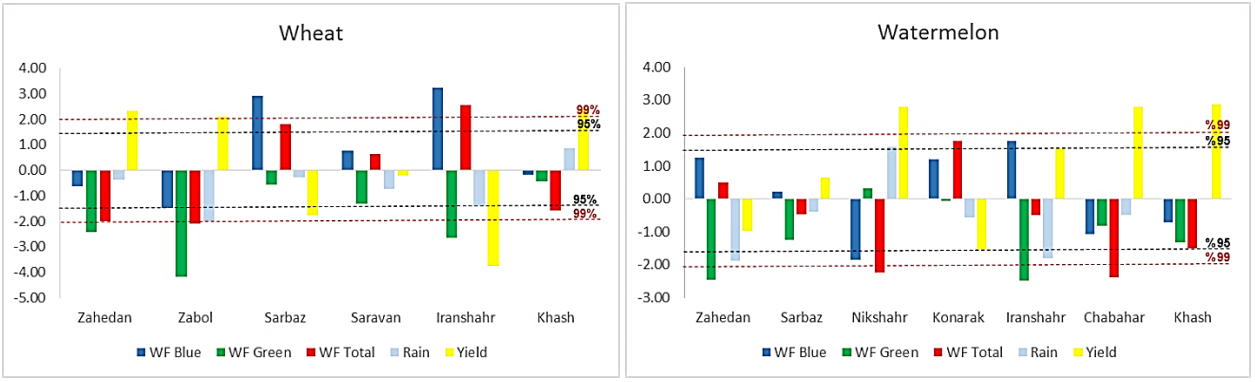


شکل ۳- نمودار جعبه‌ای اجزای ردپای آب و تغییرات عملکرد و بارندگی در هر شهرستان

Fig. 3- Diagram box of water footprint components and changes in yield and rainfall in each city

تأثیر متقابل این دو پارامتر را در محصول گندم و در شهرستان‌های زاهدان و ایرانشهر به‌خوبی می‌توان مشاهده کرد. شهرستان زاهدان با کاهش بارندگی ردپای آب سبز محصول کاهش داشته، امّا همزمان ردپای آب آبی محصول دارای روند کاهشی بوده

که این به‌دلیل افزایش عملکرد گندم در این شهرستان بوده است. دقیقاً عکس همین روند را در شهرستان ایرانشهر برای محصول گندم می‌توان دید، به‌طوری‌که با کاهش بارندگی ردپای آب سبز روند کاهشی داشته و با کاهش عملکرد ردپای آب آبی افزایشی بوده و تأثیر متقابل آن‌ها باعث افزایش ردپای آب کل محصول در این شهرستان شده است. این موضوع در تحقیقات علیقلی‌نیا و همکاران (Aligholinia et al., 2020) و سالاری و همکاران (Salari et al. 2015) برای محصولات دیگر در اقلیم‌های شش‌گانه ایران نیز اشاره شده و نتایج تحقیقات آن‌ها تأییدکننده صحت نتایج تحقیق فوق می‌باشد. باتوجه به اینکه بخش کشاورزی تکیه‌گاه اصلی در تأمین نیاز غذایی کشور است، از طرفی، با توجه به افزایش جمعیت در نتیجه فشار بیشتر روی منابع آبی و ایجاد عدم امنیت غذایی در نهایت، روند ردپای آب آبی و سبز در گندم و هندوانه می‌تواند سطح خودکفایی این شهرستان‌ها را در این دو محصول نشان دهد. (Golabi et al., 2019) با مطالعه بر سیر تاریخی گیاه جو در شهرستان‌های اصفهان به نتایج مشابه دست یافتند.



شکل ٤- روند تغییرات ردپای آب آبی، سبز و کل، عملکرد و بارندگی در شهرستان‌های سیستان و بلوچستان

Fig. 4- Trend of changes blue, green and total water footprint, yield and rainfall in Sistan and Baluchestan cities

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی ردپای آب ۳۰ ساله دو محصول گندم و هندوانه در شهرستان‌های سیستان و بلوچستان پرداخته شد. نتایج نشان‌دهنده ردپای آب بیشتر گندم نسبت به هندوانه است که این به‌دلیل عملکرد بالای محصول هندوانه در مقابل گندم می‌باشد. در مقایسه ردپای آب آبی و سبز محصولات، نتایج نشان‌دهنده سهم بیشتر ردپای آب سبز در محصول گندم نسبت به محصول هندوانه است که این نیز به‌دلیل طول دوره رشد و تاریخ کشت و برداشت محصول گندم و استفاده بیشتر این محصول از منابع آب بارندگی است. ارزیابی روند تغییرات با روندیابی منکندال حاکی از افزایش عملکرد و کاهش بارندگی در ۳۰ سال مورد تحقیق در دو محل بوده که این باعث افزایش ردپای آب آبی و کاهش ردپای آب سبز محصولات شده است. با این حال، میزان کاهش یا افزایش بارندگی و عملکرد در همه شهرستان‌ها یکسان و به یک روند معین نبوده و همین موضوع اهمیت ارائه الگوی کشت محصولات در شهرستان‌ها را بر مبنای ردپای آب محصول نشان می‌دهد. بر مبنای تحقیق فوق، محصولی برای کشت در منطقه مناسب خواهد بود که ضمن دارا بودن ردپای آب کل کمتر، سهم ردپای آب سبز آن نسبت به ردپای آب آبی آن بیشتر باشد و به تبع آن، محصولاتی با عملکرد و بهره‌وری پایین (ردپای آب کل بالا) برای کشت در منطقه مناسب نبوده و در انتخاب الگوی کشت و تعیین سیاست‌های کشاورزی منطقه این مفاهیم باید مد نظر قرار بگیرد. مدیریت ردپای آب به عادت‌های فردی در جامعه و فرهنگ مصرفی جامعه مربوط است. از طرف دیگر، در بعضی مناطق، آبی که برای رشد بعضی از محصولات نیاز است، بالاتر از اقتضای شرایط اقلیمی آن ناحیه قرار می‌گیرد، در نتیجه فشار بیشتری به منابع آب آن ناحیه وارد می‌گردد. درحالی‌که همان محصول در شرایط جغرافیایی مناسب‌تر به آب کمتری برای رشد نیاز دارد، در نتیجه ردپای آب کمتری نیز به‌جای خواهد گذاشت. مردم اطلاعات چندانی در مورد تأثیرشان روی منابع آب و کمبود آن ندارند. به همین دلیل، نیاز است تا مصرف‌کنندگان از شرکت‌ها و دیگر ذینفعان در روند تولید محصولات، شفافیت بیشتری در ارتباط با ردپای آب بخواهند با استفاده از روش‌های متفاوت (تغییر الگوی مصرف، اصلاح الگوی کشت، تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، کم کردن تبخیر و

تعرق به‌وسیله پوشش منابع آب آبی) سهم آب آبی کاهش پیدا کند و مدیریت مؤثرتری اعمال گردد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت مالی در چاپ مقاله که از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه زابل به شماره ۲۱-۹۷۱۹ تأمین شده، سپاسگزاری می‌گردد.

References

1. Aligholina, T., Rezaei, H., Bahmanesh, J., & Montasseri, J., 2017. Study of water footprint index for dominant crops in the Lake Urmia Catchment and its relationship with irrigation management. *Soil Science*, *27*, 4. 37-48. (In Persian with English Summary)
2. Aligholinia, T., Ghorbani, K., Rezaie, H., & Gorbani Nasr Abad, G., (2020). Evaluation and simulation of water footprints of agricultural crops in different climates of Iran considering of climate change scenarios. *Iran-Water Resources Research*, *16*(3), 80-97. (In Persian with English Summary) DOI:20.1001.1.17352347.1399.16.3.6.4
3. Aligholinia, T., Sheibani, H., Mohammadi, O., & Hesam, M., (2021). Evaluation and comparison of blue, green and gray water footprint of wheat in different climates of Iran. *Iran-Water Resources Research*, *15*(3), 234-245. (In Persian with English summary). DOI:20.1001.1.17352347.1398.15.3.18.9
4. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M., (1998). Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). FAO Irrigation and Drainage, FAO.
5. AQUASTAT, (2016). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. http://www.fao.org/faostat/en/.
6. Arabi, A., Alizadeh, A., Vahab Rajaee, N., Jam K., & Niknia, N. 2012. Agricultural Water Foot Print and Virtual Water Budget in Iran Related to the Consumption of Crop Products by Conserving Irrigation Efficiency. *Journal of Water Resource and Protection*, *4*, 318-324. DOI:10.4236/jwarp.2012.45035
7. Araya, A., Habtu, S., Hadgu, K.M., Kebede, A., & Dejene, T. (2010). Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*). *Agricultural Water Management*, *11*, 1838-1846. DOI:10.1016/j.agwat.2010.06.021
8. Chapagain, A.K., & Hoekstra, A.Y., (2012). The blue, green, and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, *70*, 749–758. DOI:10.1016/j.ecolecon.2010.11.012
9. Chico, D., Aldaya, M., & Garrido, A., (2013). A water footprint assessment of a pair of jeans: The influence of agricultural policies on the sustainability of consumer products. *Journal of Cleaner Production*, *57*, *238*-248. DOI:10.1016/j.jclepro.2013.06.001
10. Dahmardeh Ghaleno, M.R., Sadoddin, A., Sheikh, V., & Sabouhi, M., (2017). Optimal utilization of the Chahnimeh water reservoirs in Sistan region of Iran using goal programming method. *Eco Persia*, *5*(1), 1641-1654. DOI:10.18869/modares.ecopersia.5.1.1641
11. Doorenbos, J., & Pruitt, W.O. 1984. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 24, FAO, Rome, Italy, 144 p.
12. Ene, A.S., Teodosiu, C., Robu, B., & Volf, I., (2013). Water footprint assessment in the winemaking industry: A case study of office paper. *Journal of Cleaner Production*, *24*, 30-35. DOI:10.1016/j.jclepro.2012.11.051
13. FAO., (2010). Global Information and Early Warning System (GIEWS). FAO, Rome, www.fao.org/giews/countrybrief/index.jsp.
14. Garcia-morrillo, J., Martin, M., Camacho, E., Rodriguez Diaz, J.A., & Montesino, I., (2015). Toward precision irrigation for intensive strawberry cultivation. *Agriculture Water Management*, *51*, 43-51. DOI:10.1016/j.agwat.2014.09.021
15. Golabi, M.R., Radmanesh, F., Akhondali, A.M., & Niksokhan, M.H., (2019). Investigation of annual water footprint trend of barley production (Case study: Isfahan province). 15-17. The first conference on adaptation strategies to dehydration in arid and semi-arid regions Hakim Sabzevary of University. Sabzevar. Nov 11-19,
16. Hekmatnia, M., Hosseini, S.M., & Safdari, M., (2020). Water resource management of the agricultural sector in Sistan and Baluchestan province: A virtual water perspective. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, *11*(41), 137-149. (In Persian with English Summary). DOI:10.22125/IWE.2020.114958

17. Herath, I., Green, S., Horne, D., Singh, R., & Clothier, B., (2014). Quantifying and reducing the water footprint of rain-fed potato production, part I: Measuring the net use of blue and green water. *Journal of Cleaner Production, 81*, 111-119. DOI:10.1016/j.jclepro.2014.06.026
18. Hoekstra, A.Y., & Chapagain, A.K., (2007). Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management, 21*(1), 35–48. DOI:10.1007/978-1-4020-5591-1_3
19. Hoekstra, A.Y., & Hung, P.Q., (2005). Globalization of water resources: International virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change, 15*(1), 45-56. DOI:10.1016/j.gloenvcha.2004.06.004
20. Hsiao, T.C., Steduto, P., Raes, D., & Fereres, E., (2009). AquaCrop: The FAO crop water model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. *Agricultural Journal, 101*, 448-459. DOI:10.2134/agronj2008.0218s
21. Jefferies, D., Munoz, I., Hoedges, J., King, V.J., Aldaya, M.M., Ercin, A.E., Mila I Canals, L.L., & Hoekstra, A.Y., (2012). Water footprint and life cycle assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine. *Journal of Cleaner Production, 33*, 155-166. DOI:10.1016/j.jclepro.2012.04.015
22. Karadish, F., & Hoekstra, A.Y., (2017). Informing national food and water security policy through water footprint assessment: The case of Iran. *Water, 9*(11), 1-25. DOI:10.3390/w9110831
23. Karadish, F., & Šimůnek, J., (2018). An application of the water footprint assessment to optimize production of crops irrigated with saline water: A scenario assessment with HYDRUS. *Agricultural Water Management, 208*, 67–82. DOI:10.1016/j.agwat.2018.06.010
24. Karadish, F., & Šimůnek, J., (2019). A comparison of the HYDRUS (2D/3D) and SALTMED models to investigate the influence of various water-saving irrigation strategies on the maize water footprint. *Agricultural Water Management, 213*, 809–820. DOI:10.1016/j.agwat.2018.11.023
25. Karandish, F., (2018). Analyzing management scenarios for proper wheat production and consumption in Iran regarding water footprint: Challenges and opportunities. *Iranian of Irrigation and Water Engineering*, *12*(4), 954-969. (In Persian with English Summary)
26. Kendall, M.G., (1975). Rank Correlation Methods. Charles Griffin, London.
27. Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrical*, *13*, 245-259. DOI:10.2307/1907187
28. Nana, E., Corbari, C., & Bocchiola, D., (2014). A model for crop yield and water footprint assessment: Study of maize in the Po valley. *Agricultural Systems, 127*, 139-149. DOI:10.1016/j.agsy.2014.03.006
29. Salari, S., Karandish, F., & Darzi-Naftchali., A., (2015). Spatial and temporal analyses of the wheat virtual water variations in Sistan and Blouchestan province. *Iranian of Irrigation and Water Engineering*, *5*(18), 81-94. (In Persian with English summary)
30. Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, l., Saab, M.T.A., Stöckle, C., & Steduto, P., (2009). Assessment of AquaCrop, Crop Syst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agronomy Journal, 101*(3), 509–521. DOI:10.2134/agronj2008.0166s
31. Turgay, P., & Ercan, K., (2005). Trend Analysis in Turkish precipitation data. Hydrological processes published online in Wiley Interscience (www.Interscience.wiley.com).
32. Yao, C., Teng, Y., & Huang, L., (2017). Evaluation index system construction and empirical analysis on food security in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, *31*(4), 1-10. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2015.04.001
33. Yarahmadi, J., (2003). The integration of satellite images, GIS and CROPWAT model to investigation of water balance in irrigated area; A Case Study of Salmas and Tassooj Plain, Iran. 65pp.

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

Research Article
Vol. 15, No. 4, 2024, p. 769-787

Improving the Quantitative, Qualitative, and Agronomic Phosphorus Efficiency of Soybean (*Glycine max* L.)

Sadegh Vahdat Masoud[1] and Mohammad Ali Aboutalebian[2*]

1- Former M.Sc. Student of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2- Associated Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
(*- Corresponding author Email: m.aboutalebian@basu.ac.ir)

Received: 19-02-2022
Revised: 05-06-2022
Accepted: 07-06-2022
Available Online: 25-01-2021

How to cite this article:
Vahdat Masoud, S., & Aboutalebian, M.A. (2024). Improving the quantitative, qualitative, and agronomic phosphorus efficiency of soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Agroecology*, *15*(4), 769-787.
DOI: 10.22067/agry.2022.75382.1097

Introduction

One of the most important issues in improving the growth and increasing the yield of oil plants is proper nutrition and providing the nutrients the plant needs during the growing season. Today, using biofertilizers in agriculture is considered an effective way to reduce the consumption of chemical inputs to increase the quantitative and qualitative yield of plants using beneficial soil microorganisms. Among these organisms, phosphate-solubilizing bacteria, which can increase the phosphorus uptake efficiency of plants, can be mentioned. According to reports, humic acid is a plant growth stimulant mainly by changing the root structure and growth dynamics, increasing the root size, branching and density.

Materials and Methods

A field experiment was conducted at the agricultural research station, Bu-Ali Sina University, in the 2020 growing season. The employed soybean cultivar was Habit. This factorial experiment was performed based on a randomized complete blocks design with three replications. Experiment factors were two levels of phosphorus fertilizer, including application and non-application, biophosphate, including inoculated and non-inoculated, and foliar application of humic acid, including 0, 2, and 4 $g.l^{-1}$ (during two stages of 15 and 30 days after emergence at the rate of 250 liters per hectare). In the present study, the interaction effect of humic acid and phosphate solubilizing biofertilizer was evaluated on phosphorus agronomic efficiency, water use efficiency, yield, yield components, and quality characteristics of soybean. In this study, after checking the residual normality of the data, SAS software (Ver. 9.1) was used to analyze the data variance. Also, to compare the means, Duncan's multiple range test at the level of 5% probability was used.

Results and Discussion

The results showed that with phosphorus fertilizer application, simultaneous use of biophosphate and humic acid increased plant height (19.2%), biological yield (28.8%), and number of pods per plant (20.4%)

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https:// DOI: 10.22067/agry.2022.75382.1097

compared to the lack of biophosphate and humic acid conditions. For the treatment level of non-use of phosphorus fertilizer and use of biophosphate, foliar application of 4 g/l of humic acid compared to 2 g/l increased the biological yield of soybean by 13.9%. The 1000-grain weight of soybeans in phosphorus fertilizer application conditions showed no no significant difference between humic acid levels. However, in non-phosphorus fertilizer conditions, foliar application of 4 g/l of humic acid caused a significant increase in 1000-grain weight compared to non-humic acid treatment. It seems that the application of humic acid has strengthened the relationship of the plant with phosphate-solubilizing bacteria. Also, the number of grains per pod of soybean increased by 14.6% with biophosphate and 16.8% with the foliar application of 4 g/l of humic acid compared to the conditions of no application of any of them. The application of 4 g/.l^{-1} of humic acid and the application of biophosphate increased grain yield by 27.3% and 26.4%, respectively. The highest percentage of seed oil (23.21) was obtained in the absence of phosphorus fertilizer and simultaneous application of 4 $g.l^{-1}$ of humic acid and biophosphate. In contrast, the highest percentage of grain protein (51.3) was obtained in the presence of phosphorus fertilizer, 4 $g.l^{-1}$ of humic acid, and no biophosphate. In the absence of available phosphorus in the soil, the application of biophosphate takes precedence over the foliar application of humic acid. This is evident as, without biophosphate application, there was no significant difference in seed oil percentage across various levels of humic acid. When biophosphate and humic acid were used in combination, compared to the sole use of biophosphate, the individual application of 4 $g.l^{-1}$ and 2 $g.l^{-1}$ of humic acid increased phosphorus agronomic efficiency by 21.1%, 35.7%, and 48.3%, respectively. The results indicate that the combined use of biophosphate and foliar application of 4 g/l of humic acid, in comparison to their absence, improved the water use efficiency of soybean by 25% and 26%, respectively.

Conclusion

Therefore, simultaneous application of 4 $g.l^{-1}$ of humic acid and biophosphate can improve growth yield, and increase soybean phosphorus agronomic and water use efficiency. However, to achieve a higher percentage of seed oil, 4 $g.l^{-1}$ of humic acid alone is recommended.

Keywords: Grain oil percent, grain protein percent, grain yield, pods number per plant, water use efficiency

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ۷۸۷-۷٦۹

بهبود خصوصیات کمی، کیفی و کارایی زراعی فسفر در سویا (*Glycine max* L.)

صادق وحدت مسعود[۱] و محمد علی ابوطالبیان[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثر اسید هیومیک، بیوفسفات و کود فسفر بر خصوصیات کمّی، کیفی و کارایی زراعی فسفر سویا (*Glycine max* L.) رقم هابیت، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در بهار و تابستان سال ۱۳۹۹ در همدان انجام شد. کود فسفر و بیوفسفات هرکدام در دو سطح مصرف و عدم مصرف و محلول‌پاشی اسید هیومیک در سه سطح ۰، ۲ و ۴ گرم در لیتر (طی دو مرحله ۱۵ و۳۰ روز پس از سبز شدن به‌میزان ۲۵۰ لیتر در هکتار)، عوامل این آزمایش بودند. نتایج نشان داد که در شرایط مصرف کود فسفر، کاربرد همزمان بیوفسفات و اسید هیومیک باعث افزایش ارتفاع بوته (۱۹/۲ درصد)، عملکرد زیستی (۲۸/۸ درصد) و تعداد غلاف در بوته (۲۰/۴ درصد) نسبت به عدم مصرف آن‌ها شد. مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک و بیوفسفات به‌ترتیب عملکرد دانه را ۲۷/۳ و ۲۶/۴ درصد و کارایی مصرف آب را ۲۶ و ۲۵ درصد افزایش داد. بالاترین درصد روغن دانه (۲۳/۲۱) با عدم مصرف فسفر و کاربرد همزمان چهار گرم در لیتر اسید هیومیک و بیوفسفات حاصل شد، درحالی‌که بیشترین درصد پروتئین دانه (۵۱/۳) در حضور فسفر، چهار گرم در لیتر اسید هیومیک در نبود بیوفسفات به‌دست آمد. مصرف توأم بیوفسفات و اسید هیومیک نسبت به مصرف جداگانه بیوفسفات، چهار و دو گرم در لیتر اسید هیومیک به‌ترتیب باعث افزایش ۲۱/۱، ۳۵/۷ و ۴۸/۳ درصدی کارایی زراعی فسفر شد. بنابراین، مصرف همزمان اسید هیومیک و بیوفسفات افزایش عملکرد کمّی و کیفی سویا را در پی دارد.

واژه‌های کلیدی: تعداد غلاف در بوته، درصد پروتئین، درصد روغن، عملکرد دانه، کارایی مصرف آب

مقدمه

بخش قابل توجهی از نیاز داخلی کشور به روغن از طریق واردات تأمین می‌شود، این در حالی است که قیمت جهانی آن هر ساله رو به افزایش بوده و سالانه باعث خروج مقادیر قابل توجهی ارز از کشور می‌شود. بنابراین، افزایش تولید گیاهان روغنی در کشور و حرکت به سمت خودکفایی در تولید روغن، امکان‌پذیر و امری ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، گیاه سویا (*Glycine max* L.) با دارا بودن ۲۵-۱۸ درصد روغن، ۵۰ -۳۰ درصد پروتئین، تولید کنجاله مرغوب، دارا بودن انواع ویتامین و همچنین به‌دلیل قابلیت بالای هضم روغن آن و وجود اسیدهای چرب غیر اشباع، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Khan et al., 2020). به‌طوری‌که این گیاه اهمیت به‌سزایی در تغذیه انسان، دام، طیور و مصارف متعدد صنعتی داشته و در حال حاضر، از جهت آمار تولید و تجارت بین‌المللی، مهم‌ترین دانه بقولات به‌شمار می‌رود (Mohammadi et al., 2015).

یکی از مهم‌ترین مسائل در بهبود رشد و افزایش عملکرد گیاهان روغنی، تغذیه مناسب و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در طول فصل رشد می‌باشد (Ghaly et al., 2020). در سال‌های اخیر،

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: m.aboutalebian@basu.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2022.75382.1097

افزایش روز افزون قیمت کودهای شیمیایی در جهان، آلودگی آب‌های زیر زمینی و تخریب ساختمان خاک در اثر مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، ضرورت بازنگری در نحوه و میزان مصرف این دسته از نهاده‌های شیمیایی را ایجاب کرده است، به‌طوری‌که امروزه استفاده از کودهای زیستی در کشاورزی به‌عنوان یک راهکار مؤثر در کاهش مصرف این نهاده‌های شیمیایی در جهت افزایش عملکرد کمّی و کیفی گیاهان مطرح است (Nadir et al., 2014). از جمله کودهای زیستی مهم، باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاهان هستند که با فعالیت خود باعث افزایش ضریب جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر (Liu et al., 2020)، افزایش مقاومت گیاه در برابر عوامل نامساعد محیطی (Ali et al., 2021) و افزایش حاصلخیزی و بهبود ساختار خاک (Zaki et al., 2017) می‌شوند. این موجودات در اطراف ریزوسفر گیاه باعث بهبود رشد گیاه شده (Lombardo & Lamattina, 2012) و عملکرد کمّی و کیفی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Sarwar et al., 2014).

فسفر، دومین عنصر محدودکننده رشد گیاهان پس از نیتروژن محسوب می‌شود و سالانه مقادیر زیادی از فسفر موجود در کودهای شیمیایی بعد از ورود به خاک به‌فرم نامحلول درآمده و از دسترس گیاه خارج می‌شود. این مسئله به‌ویژه در خاک‌های آهکی شیوع زیادی دارد (Khan et al., 2020) و متأسفانه اغلب مزارع و باغات ایران دارای خاک آهکی و قلیایی (pH > ۷/۵) هستند (Malakouti, 2014). بر طبق نتایج تحقیقات متعدد، یکی از راهکارهای افزایش حلالیت و جذب فسفر خاک استفاده از انواعی کودهای زیستی به‌ویژه از نوع باکتریایی آن‌ها است که می‌تواند کارایی جذب فسفر گیاهان را افزایش دهد (Siswana et al., 2019; Dehsheikh et al., 2020). محققین در تلقیح بذور نوعی لوبیا (*Phaseolus radiatus* L.) با باکتری‌های حل‌کننده فسفات گزارش نموده‌اند که سطح برگ و محتوی فسفر گیاه از طریق تلقیح با باکتری *Burkholderia cepacia* افزایش معنی‌داری داشته است (Siswana et al., 2019). در پژوهش دیگری بر روی گیاه ماش (*Vigna radiata*) کاربرد دو باکتری حل‌کننده فسفات *Pseudomonas striata* و *Bacillus polymyxa* منجر به افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد غلاف در بوته، افزایش وزن هزار دانه و کلروفیل‌های a و b گیاه گردید (Hassan et al., 2017).

راهکار دیگر بهبود توسعه رشد ریشه از طریق القای ساخت ترکیبات هورمونی و شبه هورمونی در گیاه است که می‌تواند با کاربرد ترکیبات اسید هیومیک انجام گیرد (Jindo et al., 2020). گزارش شده است که اسید هیومیک به‌عنوان محرک رشد گیاه عمدتاً با تغییر در ساختار و افزایش انشعابات ریشه و پویایی رشد، سبب گستردگی ریشه و تراکم تارهای کشنده آن می‌شود. همچنین با تحریک فعالیت پمپ پروتون در غشای سلولی به‌ویژه سلول‌های ریشه و تقویت گرادیان الکتروشیمیایی در سراسر غشای سلولی، جذب عناصر غذایی را بهبود می‌بخشد (Canella & Olivares, 2014). در گیاه ذرت (*Zea mays*) گزارش شده است که کاربرد اسید هیومیک سبب افزایش بیان ساخت پمپ پروتون غشای سلولی شده است (Quaggiotti et al., 2004) که این خود در فرایند گسترش سلول‌های ریشه و افزایش کارایی جذب تارهای کشنده، بسیار مهم است و کارکرد اسید هیومیک در ریشه‌زایی مشابه هورمون اکسین در غلظت‌های کم بوده است (Zandonadi et al., 2007). بر اساس نتایج پژوهشی، کاربرد اسید هیومیک در آناناس (*Ananas comosus*) از طریق بهبود توسعه ریشه منجر به افزایش غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم برگ‌ها به ترتیب به‌میزان۵۲، ۷۱، ۵۰، ۵۸ و ۵۹ درصد شده است (Baldotto et al., 2009). همچنین گزارش شده است که اسید هیومیک می‌تواند سبب القای ساخت نیتریک اکسید (NO) در مکان‌های خروج ریشه‌های جانبی شود (Zandonadi et al., 2007) که جزئی از فرایندهای فیزیولوژیکی توسعه ریشه محسوب می‌شود (Lombardo & Lamattina, 2012). بر این اساس، در پژوهش حاضر برهم‌کنش سه عامل کود فسفر، اسید هیومیک و کود زیستی حل‌کننده فسفات (بیوفسفات) بر کارایی زراعی فسفر، کارایی مصرف آب، عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات کیفی دانه سویا مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهر همدان (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۶۸۰ متر از سطح دریا) به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اول کود فسفات در دو سطح مصرف (۸۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات) و عدم مصرف، عامل دوم مصرف و عدم مصرف کود

زیستی حل‌کننده فسفات (بارور ۲) و عامل سوم اسید هیومیک در سه سطح عدم مصرف، محلول‌پاشی دو و چهار گرم در لیتر (طی دو مرحله ۱۵ و۳۰ روز پس از سبز شدن به‌میزان ۲۵۰ لیتر در هکتار) بود.

جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه برداری شد که نتایج آن در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of experimental soil

رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت Texture	فسفر P (mg.kg^{-1})	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	نیتروژن کل Total N (%)	pH	هدایت الکتریکی E.C. (dS.m^{-1})	کربن آلی Organic C (%)
43	46	11	Loam	9.2	350	0.1	7.6	0.402	0.72

هر واحد آزمایشی شامل شش خط کاشت به‌فاصله ۵۰ سانتی‌متر و طول شش متر بود و تراکم کشت ۴۰ بوته در مترمربع تنظیم شد. بین کرت‌ها دو خط نکاشت و بین هر بلوک نیز دو متر فاصله در نظر گرفته شد. عملیات تهیه زمین شامل یک شخم و یک روتیواتور قبل از کاشت بود. کود فسفر در تیمارهای لازم به‌صورت نواری هنگام کاشت در زیر بذر مصرف شد. بعد از آماده‌سازی زمین، کشت بذرها بر اساس حداقل دمای مورد نیاز برای جوانه‌زنی سویا (۱۵ درجه سلسیوس) در دهم خرداد انجام شد. رقم هابیت بذر سویا که رقمی زودرس و رشد محدود است، در این طرح استفاده گردید. کود زیستی حل‌کننده فسفات (بارور ۲) از شرکت زیست فناور سبز تهیه شد که بنابر توصیه شرکت سازنده نیم لیتر در هکتار هنگام کاشت با بذرها تلقیح گردید. این کود حاوی باکتری‌های *Pseudomonas putida* strain P13 و *Pantoea agglomerans* strain P5 با ۱۰۷ تا ۱۰۸ واحد تشکیل‌دهنده کلونی بر میلی‌لیتر بود که ضمن توجه به تاریخ مصرف درج شده روی محصول از محیط کشت پلیت کانت آگار نیز برای اطمینان از تعداد فعال ریزجانداران استفاده شد (Maes et al., 2020). در تمام تیمارها از مایه تلقیح تثبیت‌کننده نیتروژن اختصاصی سویا (*Bradyrhizobium japonicum*) استفاده شد. مایه تلقیح برادی‌ریزوبیوم نیز به‌شکل مایع بود و بر اساس گزارش مؤسسه آب و خاک کرج که تولیدکننده این محصول می‌باشد، در هر میلی‌لیتر آن $۱۰^{۱۱} \times$ ۸/۵ سلول زنده و فعال باکتری وجود داشت که با نسبت یک لیتر در هکتار مصرف شد. کود نیتروژن تنها در زمان کاشت به‌عنوان شروع‌کننده به‌میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره مصرف شد. اسید هیومیک مورد استفاده نیز لیگنوهیومکس پودری شرکت G. P. P. W تولید کشور سوئیس بود. در طول فصل رشد، آبیاری به‌صورت قطره‌ای انجام شد. متوسط آب مصرف شده در هر بار آبیاری با دور تقریباً هفت روز حدود ۳۱۰ مترمکعب در هکتار بود که بر اساس رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی با استفاده از معادله ۱ (Mazaheri & Majnon Hoseini, 2001) محاسبه و انجام شد.

$$d = [(F_c-P_0)/100]\times A_S\times D \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، d: ارتفاع آب آبیاری بر حسب سانتی‌متر، Fc: درصد رطوبت وزنی خاک در مرحله ظرفیت زراعی (۲۶ درصد)، P_0: درصد رطوبت وزنی خاک هنگام آبیاری، A_S وزن مخصوص ظاهری خاک (۱/۳۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و D: عمق توسعه ریشه (۳۵ سانتی‌متر) بود که با ضرب ارتفاع آبیاری در ۱۰۰، عدد به‌دست آمده بر حسب متر مکعب در هکتار می‌شود. حجم آب محاسبه شده در معادله ۱ بر اساس متوسط دبی خروجی آب قطره چکان‌ها در ساعت، به‌مدت زمان لازم در هر بار آبیاری تبدیل شد تا بتوان کارایی آب مصرف شده را اندازه‌گیری کرد.

برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد در زمان رسیدن محصول، با رعایت اثر حاشیه‌ای، در سوم مهرماه حدود سه مترمربع از هر کرت انتخاب و نمونه‌هایی شامل ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر واحد آزمایشی برای ارزیابی اجزای عملکرد استفاده شدند. در این پژوهش، عملکرد دانه برحسب ۱۴ درصد رطوبت اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد اقتصادی بر عملکرد بیولوژیک به‌دست آمد. محاسبه کارایی زراعی فسفر از معادله ۲ (Sadeghi & Aboutalebian, 2019) (بر حسب کیلوگرم افزایش دانه بر کیلوگرم فسفات مصرف شده) و کارایی مصرف آب نیز از نسبت عملکرد دانه بر آب مصرف شده در کل دوره رشد (بر حسب کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب)، محاسبه شد (Parvizi & Nabati, 2004).

معادله (۲)

$$\text{کارایی زراعی فسفر} = \frac{\text{عملکرد دانه در تیمار شاهد} - \text{عملکرد دانه در تیمار کودی}}{\text{میزان کود مصرفی فسفات}}$$

درصدهای روغن و پروتئین نیز به‌ترتیب با سوکسله و کجلدال اندازه‌گیری شد. در روش کجلدال برای محاسبه درصد پروتئین خام، درصد نیتروژن نمونه‌ها در عدد ۶/۲۵ ضرب شد (Parvizi & Nabati, 2004). در این تحقیق، پس از کنترل نرمال بودن باقی‌مانده داده‌ها، برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار SAS Ver. 9.1 و برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید. ضمناً برای مقایسه میانگین اثرات متقابل نیز از نرم‌افزار MSTAT-C استفاده شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

بر طبق نتایج، کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش دوگانه بیوفسفات و اسید هیومیک و برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین ارتفاع سویا از تیمار مصرف کود فسفر و مصرف همزمان بیوفسفات و چهار گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد. در تمام سطوح تیماری، کاربرد چهار گرم در لیتر اسید هیومیک توانست با افزایش قابل توجه ارتفاع بوته برتری خود را حتی نسبت به کاربرد دو گرم در لیتر آن (به‌جز در شرایط عدم مصرف کود فسفر و عدم کاربرد بیوفسفات) نشان دهد (شکل ۱). به نظر می‌رسد، اسید هیومیک غلیظ‌تر (چهار گرم در لیتر) با افزایش تولید هورمون گیاهی ایندول استیک اسید منجر به افزایش ارتفاع بوته شده باشد (Ali et Matuszak-Slamani et al., 2017; al., 2021; Mahmood et al., 2020). تحت شرایط نبود کود فسفر و عدم تلقیح با بیوفسفات حتی در حضور کود فسفر، از آنجا که توسعه ریشه و جذب فسفر محدودتر می‌شود (Ghasemi et al., 2012)، محلول‌پاشی با اسید هیومیک دو گرم در لیتر نتواست اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته بگذارد (شکل ۱). همچنین در نبود فسفر، کاربرد بیوفسفات در هر سه سطح اسید هیومیک مصرف شده، اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته گذاشته است که ممکن است دلیل آن القای ساخت ترکیبات شبه هورمونی در گیاه به‌علت فعالیت باکتری‌های حل‌کننده فسفر موجود در بیوفسفات باشد (Niazy et al., 2016; Manzoor et al., 2021). اثر مثبت کاربرد توأم اسید هیومیک و بیوفسفات بر ارتفاع بوته را می‌توان به افزایش جذب فسفر به‌ویژه در خاک‌های آهکی نسبت داد (Malakouti, 2014). طبق نتایج پژوهش‌های متعدد، کودهای زیستی باعث حل شدن فسفر موجود در خاک شده و در کنار آن، اسید هیومیک با تحریک رشد ریشه می‌تواند در افزایش جذب فسفر مؤثر باشد (De Hita et al., 2020; Zandonadi et al., 2007; Winarso et al., 2017).

عملکرد زیستی

در تحقیق حاضر، عملکرد زیستی سویا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تمام اثرات اصلی و برهم‌کنش‌ها قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های عملکرد زیستی سویا تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین عملکرد زیستی سویا از تیمار مصرف کود فسفر و مصرف همزمان بیوفسفات و چهار گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + مصرف دو گرم در لیتر اسید هیومیک و مصرف کود فسفر + عدم مصرف بیوفسفات + مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نداشت (شکل ۲). همچنین تیمار عدم مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک با تیمارهای مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + مصرف دو گرم در لیتر اسید هیومیک و مصرف کود فسفر + عدم مصرف بیوفسفات + مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک در یک گروه آماری قرار داشتند که می‌تواند بیانگر تأثیر جبران‌کنندگی فقدان هر یک از عوامل کود فسفر یا بیوفسفات توسط محلول‌پاشی اسید هیومیک چهار گرم در لیتر است (شکل ۲). مصرف توأم بیوفسفات و چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به عدم مصرف آن‌ها، در دو حالت مصرف و عدم مصرف کود فسفر به‌ترتیب باعث افزایش ۳۴/۲۳ و ۴۰/۵۶ درصدی عملکرد زیستی سویا شد.

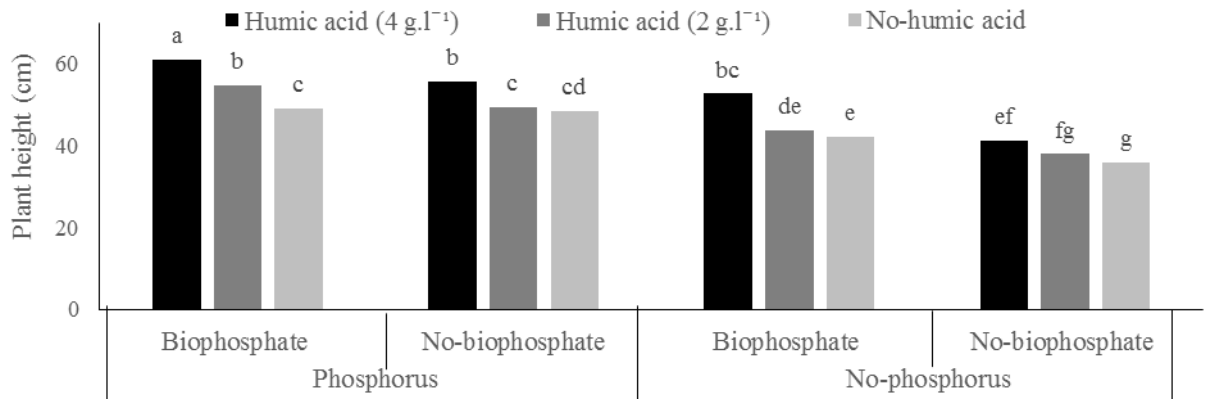
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات زراعی و مرتبط با عملکرد سویا تحت تأثیر کود فسفر، بیوفسفات و اسیدهیومیک

Table 2- Results of analysis of variance (mean of squares) of some agronomic traits of soybean affected by phosphorus fertilizer, biophosphate and humic acid

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	عملکرد زیستی Biological yield	تعداد غلاف در بوته Pod No. per plant	تعداد دانه در غلاف Seed No. per pod	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	کارایی مصرف آب Water use efficiency	درصد پروتئین Seed protein percent	درصد روغن Seed oil percent
بلوک Block	2	11.88^{ns}	289^{ns}	0.43^{ns}	1.68^{**}	556.54^{**}	4928^{**}	5.93^{ns}	0.02^{**}	0.0006^{ns}	0.47^{**}
کود فسفر (P) Phosphorus fertilizer	1	803.72^{**}	132715^{**}	105.54^{**}	1.73^{**}	465.96^{**}	44229^{**}	147.42^{**}	0.18^{**}	25.31^{**}	3.44^{**}
بیوفسفات (BP) Biophosphate	1	270^{**}	41131^{**}	28.40^{**}	0.94^{**}	457.14^{**}	36155^{**}	123.44^{**}	0.14^{**}	30.38^{**}	1.26^{**}
اسید هیومیک (H) Humic acid	2	164.30^{**}	30902^{**}	14^{**}	0.47^{**}	139.85^{*}	13596^{**}	19.50^{**}	0.05^{**}	10.05^{**}	0.49^{*}
P × BP	1	9.30^{ns}	8220^{**}	1.02^{ns}	0.004^{ns}	3.91^{ns}	0.54^{ns}	1.41^{ns}	0.00002^{ns}	74.28^{**}	6.02^{**}
P × H	2	15.86^{ns}	3681^{*}	0.58^{ns}	0.003^{ns}	463.83^{**}	64^{ns}	2.25^{ns}	0.0002^{ns}	65.90^{**}	4.55^{**}
BP × H	2	65.78^{**}	3489^{*}	3.21^{*}	0.003^{ns}	577.09^{**}	98^{ns}	21.73^{*}	0.0004^{ns}	6.91^{**}	2.61^{**}
P × BP × H	2	31^{*}	5548^{**}	2.78^{*}	0.02^{ns}	14.23^{ns}	1369^{ns}	17.03^{**}	0.0007^{ns}	61.31^{**}	6.06^{**}
خطای آزمایشی Error	22	9	839	0.62	0.06	43.2	444	4.43	0.004	0.21	0.13
ضریب تغییرات C.V. (%)		6.19	5.15	5.16	10.7	4.27	7.54	5.26	7.5	1.03	1.17

**، * و ns: به‌ترتیب، معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار

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

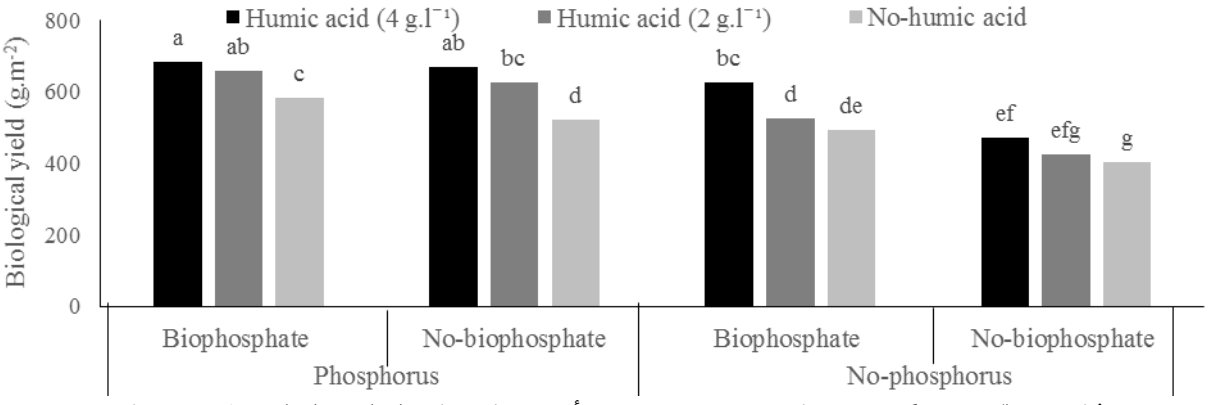


شکل ۱- مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته سویا، تحت تأثیر برهم‌کنش کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک

Fig. 1- Means comparison of soybean plant height affected by phosphorus fertilizer, biophosphate, and humic acid interaction

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های عملکرد زیستی سویا، تحت تأثیر برهم‌کنش کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک

Fig. 2- Means comparison of soybean biological yield affected by phosphorus fertilizer, biophosphate, and humic acid interaction

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

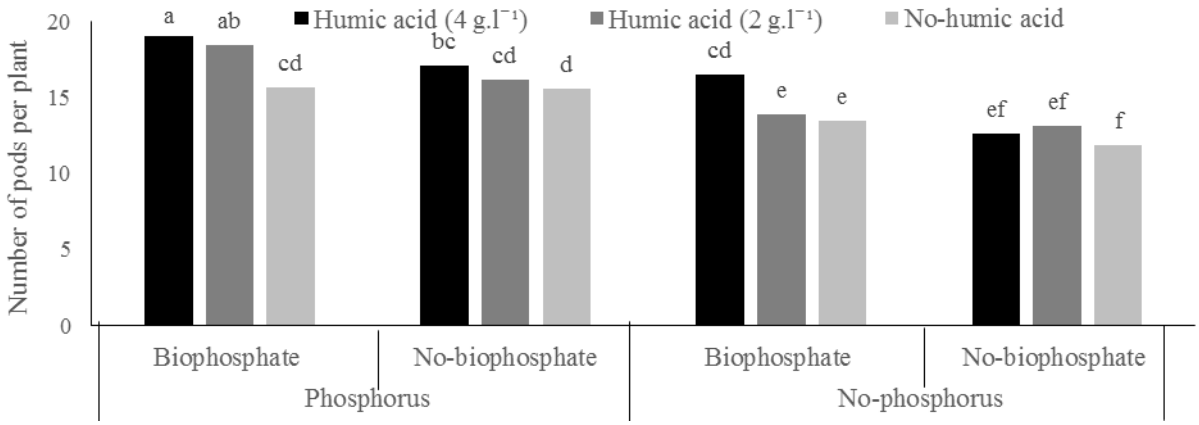
همچنین در سطح تیماری عدم مصرف کود فسفر و مصرف بیوفسفات، محلول‌پاشی چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به دو گرم در لیتر آن، عملکرد زیستی سویا را ۱۳/۹ درصد افزایش داد (شکل ۲). علت برتری محلول‌پاشی چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به دو گرم آن را می‌توان به اثر تقویتی بیوفسفات با غلظت بالاتر اسید هیومیک بر القای بیشتر ساخت هورمون‌های ریشه‌زایی مثل سیتوکنین و اکسین نسبت داد (Lingaraju et al., 2016).

در تحقیقات متعددی ثابت شده است که مصرف بیوفسفات‌ها، همزیستی گیاهان لگوم را با باکتری *ریزوبیوم*، تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش تعداد گره‌های تثبیت نیتروژن و وزن خشک این گره‌ها می‌شود (Hassan et al., 2017;Yousefi et al., 2020). بنابراین، وجود یک رابطه سه جانبه و مثبت بین گیاه، *ریزوبیوم* و بیوفسفات‌ها، عملکرد زیستی سویا را تحت تأثیر قرار داده است. بر اساس یافته‌ها، کاربرد اسید هیومیک، محتوی عناصر پرمصرف و همچنین برخی از ریزمغذی‌های گیاه را افزایش معنی‌داری داده است و همین امر باعث افزایش سطح برگ گیاه و افزایش تولید ماده خشک شده است

; El-Sheshtawy et al., Matuszak-Slamani et al., 2017)
.(2019; Jindo et al., 2020

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس تعداد غلاف در بوته سویا نشان داد که کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر تعداد غلاف در بوته‌ها داشتند. برهم‌کنش دوگانه بیوفسفات و اسید هیومیک نیز در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های تعداد غلاف در بوته تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته سویا از تیمار مصرف کود فسفر و مصرف همزمان بیوفسفات و چهار گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + مصرف دو گرم در لیتر اسید هیومیک نداشت. همچنین، نتایج نشان داد که تعداد غلاف در بوته‌ها در تیمارهای مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + مصرف دو گرم در لیتر اسید هیومیک و مصرف کود فسفر + عدم مصرف بیوفسفات + مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۳). تیمار عدم مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + مصرف اسید هیومیک (در هر دو غلظت) نیز از نظر تولید تعداد غلاف در بوته در سطح قابل قبولی قرار داشت، یعنی در شرایط کمبود فسفر قابل جذب خاک، می‌توان با کاربرد توأم بیوفسفات و محلول‌پاشی با غلظت چهار گرم در لیتر اسید هیومیک تعداد غلاف در بوته را حدود ۲۲ درصد نسبت به بقیه تیمارها افزایش داد. (شکل ۳). در تحقیق حاضر، کمترین تعداد غلاف در بوته سویا بدون توجه به مصرف یا عدم مصرف اسید هیومیک در شرایط عدم کاربرد کود فسفر و عدم تلقیح با بیوفسفات به‌دست آمد (شکل ۳) یعنی در نبود فسفر و بیوفسفات، محلول‌پاشی اسید هیومیک اثری بر تعداد غلاف در بوته سویا نداشته است. در پژوهشی به اثر هم‌افزایی کودهای فسفری و زیستی بر کارایی اسید هیومیک روی خصوصیات زراعی جو تأکید شده است (El-Sheshtawy et al., 2019). براساس نتایج تحقیقات مختلف، عنصر فسفر و عناصر ریزمغذی از جمله روی و آهن و همچنین فیتوهورمون‌ها نقش مهمی در رشد زایشی گیاه و افزایش تعداد گل‌های بارور در گیاه دارند (Malakouti, 2014). در یک تحقیق گزارش شد که مصرف کودهای زیستی از جمله باکتری‌های حل‌کننده فسفات به‌طور معنی‌داری تعداد دانه و تعداد غلاف در بوته ماش را افزایش داد (Hassan et al., 2017).



شکل ۳ - مقایسه میانگین‌های تعداد غلاف در بوته سویا، تحت تأثیر برهم‌کنش کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک

Fig. 3- Means comparison of the number of pods per soybean plant affected by phosphorus fertilizer, biophosphate, and humic acid interaction

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

تعداد دانه در غلاف

تجزیه واریانس تعداد دانه در غلاف سویا نشان داد که تنها اثر اصلی عوامل مورد بررسی در سطح یک درصد بر روی این صفت معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های تعداد دانه در غلاف سویا

تحت تأثیر اثرات اصلی کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف از کاربرد کود فسفر، مصرف بیوفسفات و محلول‌پاشی اسید هیومیک بدون توجه به غلظت آن، به‌دست آمد (جدول ۳). مصرف کود فسفر نسبت به عدم مصرف آن، ۱۹/۴درصد، مصرف بیوفسفات نسبت به عدم مصرف آن، ۱۴/۶ درصد و همچنین مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به عدم مصرف آن، ۱۶/۸ درصد تعداد دانه در غلاف سویا را افزایش دادند. یکی از عناصر غذایی مهم در رشد زایشی گیاهان، فسفر می‌باشد که نقش مهمی در فرآیندهای تلقیح و رشد لوله گرده دارد (Khan et al., 2020). بنابراین، تأمین فسفر برای گیاه چه از طریق کوددهی و چه از طریق روش تثبیت زیستی، می‌تواند تعداد دانه در غلاف سویا را افزایش دهد. در بررسی اثر سطوح مختلف کودهای فسفاته بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا، گزارش شد که مصرف کودهای فسفاته باعث افزایش تعداد غلاف و تعداد دانه در غلاف شد (Turuko et al., 2014). همچنین گزارش شده است که اسید هیومیک با افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی، فرآیند دانه‌بندی در گیاه را بهبود می‌بخشد (El-Sheshtawy et al., 2019).

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های تعداد دانه در غلاف سویا، تحت تأثیر اثر اصلی کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک

Table 3- Means comparison of seed per pod affected by phosphorus fertilizer, biophosphate and humic acid

کود فسفر Phosphorus fertilizer		بیوفسفات Biophosphate		اسید هیومیک Humic acid (g.l^{-1})		
عدم مصرف No-use	مصرف Use	عدم مصرف No-use	مصرف Use	0	2	4
2.21 b	2.64 a	2.26 b	2.59 a	2.2 b	2.51 a	2.57 a*

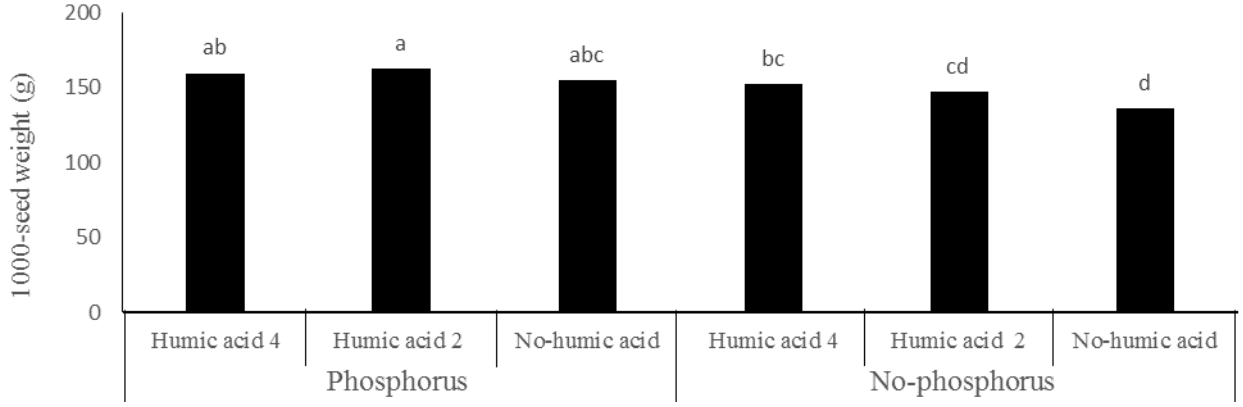
* میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در هر عامل، تفاوت معنی‌داری بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

* Means in each factor, with at least one similar letter, are not significantly different based on Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس وزن هزار دانه سویا نشان داد که کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشتند. برهم‌کنش دوگانه کود فسفر و اسید هیومیک و همچنین بیوفسفات و اسید هیومیک نیز در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه سویا داشتند. این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه فاکتورهای مورد بررسی قرار نگرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های وزن هزار دانه سویا تحت تأثیر برهم‌کنش دوگانه کود فسفر و اسید هیومیک نشان داد که وزن هزار دانه سویا در شرایط مصرف کود فسفر اختلاف معنی‌داری در بین سطوح اسید هیومیک نشان نداد، ولی در شرایط عدم مصرف کود فسفر، محلول‌پاشی چهار گرم در لیتر اسید هیومیک سبب افزایش قابل توجه وزن هزار دانه نسبت به عدم مصرف اسیدهیومیک گردید (شکل۴). به نظر می‌رسد در شرایط کمبود فسفر، ساخت مواد فتوسنتزی کمتر شده و به‌دلیل رقابت بین دانه‌ها برای دریافت این مواد، وزن دانه کاهش می‌یابد (Khan et al., 2020)، امّا با محلول‌پاشی چهار گرم در لیتر اسید هیومیک، احتمالاً با گسترش بیشتر ریشه و تولید بیشتر آنزیم‌هایی مانند فسفاتازها، جذب فسفر افزایش یافته و سبب بهبود عرضه ترکیبات فتوسنتزی به دانه‌های در حال پر شدن می‌شود (Lingaraju et al., 2016).

مقایسه میانگین‌های وزن هزار دانه سویا تحت تأثیر برهم‌کنش دوگانه بیوفسفات و اسید هیومیک نیز نشان داد که در سطح مصرف بیوفسفات، بین سطوح عامل اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری بر وزن هزار دانه وجود نداشت، امّا در شرایط عدم کاربرد بیوفسفات محلول‌پاشی اسید هیومیک فارغ از غلظت آن، منجر به افزایش وزن هزار دانه در مقایسه با عدم مصرف آن گردید (شکل ۵)، این نتیجه می‌تواند بیان‌کننده اثر مثبت اسید هیومیک بر بهبود جذب فسفر در شرایط محدودیت این عنصر باشد. به‌نظر می‌رسد که مصرف اسید هیومیک با تحریک فتوسنتز و افزایش ترشحات ریشه بر رابطه همزیستی گیاه با باکتری‌های حل‌کننده فسفات اثر مثبت گذاشته است (Liu et al., 2020). محققین در بررسی برهم‌کنش کودهای زیستی و محلول‌پاشی اسید هیومیک گزارش نمودند که مصرف توأم آن‌ها نسبت به مصرف منفرد و عدم مصرف آن‌ها باعث افزایش معنی‌داری در تعداد دانه و وزن هزار دانه سویا شد (Lingaraju et al., 2016).

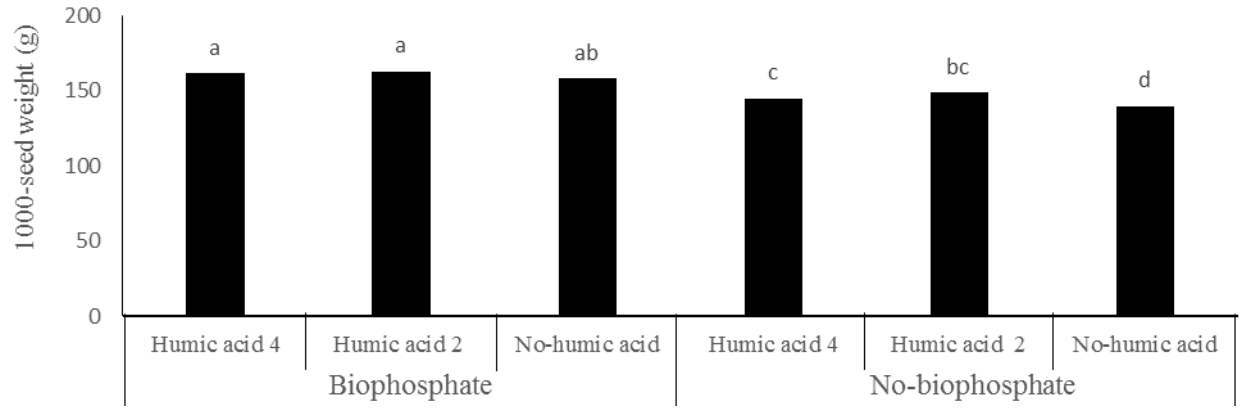


شکل ٤- مقایسه میانگین‌های وزن هزار دانه سویا، تحت تأثیر برهم‌کنش کود فسفر و اسید هیومیک (۲ و ٤ گرم در لیتر اسید هیومیک است)

Fig. 4- Means comparison of 1000 seed weight of soybeans affected by phosphorus fertilizer and humic acid interaction (2 and 4 are grams per liter of humic acid)

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.



شکل ٥- مقایسه میانگین‌های وزن هزار دانه سویا، تحت تأثیر برهم‌کنش بیوفسفات و اسید هیومیک

Fig. 5- Means comparison of 1000 seed weight of soybeans affected by phosphorus fertilizer and humic acid interaction

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

عملکرد دانه

تجزیه واریانس عملکرد دانه سویا نشان داد که اثرات اصلی کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک، در سطح یک درصد بر این صفت مهم معنی‌دار شده است. در این پژوهش، عملکرد دانه تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل مورد بررسی قرار نگرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه سویا تحت تأثیر اثرات اصلی کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از کاربرد کود فسفر، مصرف بیوفسفات و مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به سایر سطوح در هر عامل به‌دست آمد (جدول ۴). مصرف کود فسفر نسبت به عدم مصرف آن، ۲۸/۶۷ درصد، مصرف بیوفسفات نسبت به عدم مصرف آن، ۲۶/۴ درصد و همچنین مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به دو گرم در لیتر و عدم مصرف اسید هیومیک به‌ترتیب ۱۲/۲۲ و ۲۷/۳۶ درصد عملکرد دانه سویا را افزایش دادند (جدول ۴). تامین فسفر به‌دلیل تحرک کم و همچنین واکنش با بیکربنات‌ها و تثبیت آن در خاک، یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رسیدن گیاهان به حداکثر پتانسیل

عملکرد دانه محسوب می‌شود (Malakouti, Khan et al., 2020 ; 2014). استفاده از کودهای زیستی و باکتری‌های حل‌کننده فسفات به نظر می‌رسد از طریق ترشح اسیدهای آلی در محل ریزوسفر باعث افزایش حلالیت فسفر می‌شوند (Nadir et al., 2014). در بررسی اثر بیوفسفات بر جذب فسفر و افزایش عملکرد ماش گزارش شد که مصرف ۴۵ کیلوگرم فسفر از منبع شیمیایی به همراه مصرف باکتری‌های حل‌کننده فسفات اثر معنی‌داری بر افزایش جذب فسفر، پتاسیم و نیتروژن گیاه داشته و بیشترین عملکرد را تولید نمود (Sarwar et al., 2014). در تحقیق دیگری، محققین بیان داشتند که استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش عملکرد دانه ذرت شد. این محققین دلیل این امر را به افزایش فراهمی و جذب عناصر غذایی نسبت دادند (Manzoor et al., 2021). از طرفی، پتانسیل تولید سیدروفورهای مختلف به‌وسیله باکتری‌های حل‌کننده فسفات، در افزایش قابلیت جذب عناصر ریزمغذی از جمله Fe، Zn و Mo از دیگر دلایل بهبود عملکرد بیان شده است (Narula et al., 2000). شایان ذکر است که بررسی میانگین‌های عملکرد دانه تحت کاربرد اسید هیومیک نشان داد که محلول‌پاشی چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به دو گرم در لیتر آن، اثر بیشتری بر افزایش عملکرد دانه داشت که می‌توان نتیجه گرفت، غلظت بالاتر اسید هیومیک با القای بیشتر ساخت هورمون‌های گیاهی، بهبود ظرفیت فتوسنتزی و افزایش جذب عناصر غذایی مؤثرتر عمل کرده است (Lingaraju et al., 2016).

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه سویا، تحت تأثیر اثر اصلی کود فسفر، بیوفسفات و مصرف اسید هیومیک

Table 4- Means comparison of soybean seed yield affected by the main effects of phosphorus fertilizer, biophosphate, and humic acid

عملکرد دانه سویا Soybean seed yield ($g.m^{-2}$)						
اسید هیومیک Humic acid ($g.l^{-1}$)			بیوفسفات Biophosphate		کود فسفر Phosphorus fertilizer	
4	2	0	مصرف Use	عدم مصرف No-use	مصرف Use	عدم مصرف No-use
313.34 a*	279.22 b	246.02 c	313.22 a	247.83 b	314.58 a	244.47 b

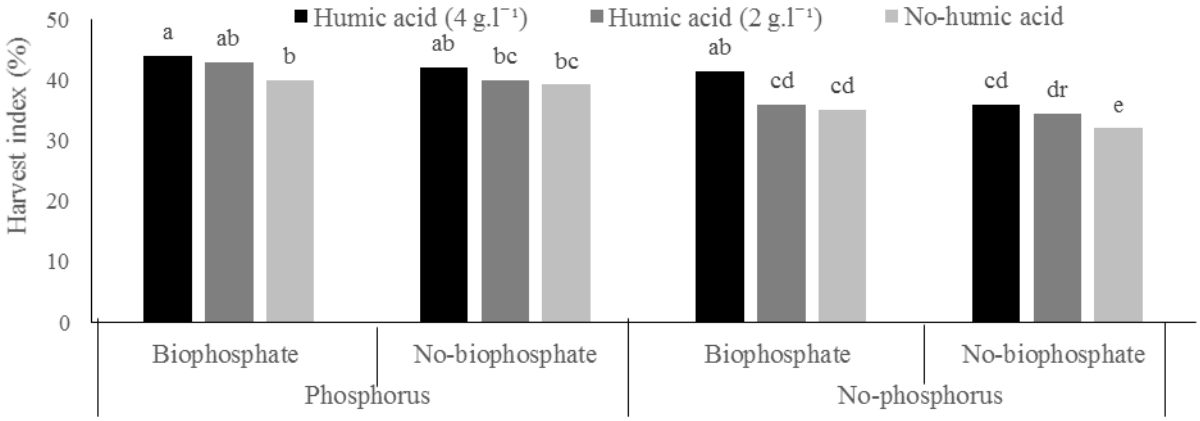
*میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در هر عامل، تفاوت معنی‌داری بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

* Means in each factor, with at least one similar letter, are not significantly different based on Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس شاخص برداشت سویا نشان داد که کود فسفر، بیوفسفات در سطح یک درصد و اسید هیومیک در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت داشتند. برهم‌کنش دوگانه بیوفسفات و اسید هیومیک و برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک نیز در سطح پنج درصد بر شاخص برداشت سویا معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های شاخص برداشت تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین شاخص برداشت سویا از تیمار مصرف کود فسفر و مصرف همزمان بیوفسفات و چهار گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + مصرف دو گرم در لیتر اسید هیومیک، مصرف کود فسفر + عدم مصرف بیوفسفات + مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک و عدم مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نداشت. همچنین نتایج نشان داد که در تیمارهای عدم مصرف کود فسفر، مصرف همزمان بیوفسفات + چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به مصرف منفرد بیوفسفات و اسید هیومیک اختلاف بسیار معنی‌داری داشت که البته این میزان اختلاف در سطح مصرف کود فسفر کمتر بود (شکل ۶). در پژوهش حاضر، مصرف توأم بیوفسفات و چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به عدم مصرف آن‌ها، در شرایط مصرف کود فسفر باعث افزایش ۹/۵ درصدی شاخص برداشت، و در شرایط عدم مصرف کود فسفر منجر به افزایش ۱۹ درصدی شاخص برداشت شد. لذا، به‌نظر می‌رسد که در شرایط کمبود فسفر قابل جذب خاک، کاربرد همزمان بیوفسفات و محلول‌پاشی اسید هیومیک در غلظت بالاتر می‌تواند عامل مهمی در افزایش شاخص برداشت باشد. مطالعه

تأثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک در کنار کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و مایکوریزا نشان داد که فراهمی عنصر غذایی فسفر نقش مهمی در افزایش عملکرد دانه و شاخص برداشت سویا داشته است (Lingaraju et al., 2016).



شکل ٦- مقایسه میانگین‌های شاخص برداشت سویا، تحت تأثیر برهم‌کنش کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک

Fig. 6- Means comparison of soybean harvest index affected by phosphorus fertilizer, biophosphate, and humic acid interaction

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

کارایی مصرف آب

تجزیه واریانس کارایی مصرف آب نشان داد که سطوح مختلف عامل‌های کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک، در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بر این شاخص داشتند، امّا برهم‌کنش عوامل مورد بررسی اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف کود فسفر، کارایی مصرف آب را ۲۸ درصد افزایش داد (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد که افزایش فراهمی فسفر با کوددهی از طریق افزایش عملکرد دانه سویا باعث افزایش کارایی مصرف آب گردیده است. در یک تحقیق که با هدف بهبود کارایی مصرف آب در نخود در خاک‌هایی با بافت مختلف انجام شده است، محققین بیان داشتند که مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر نسبت به عدم مصرف آن با افزایش عملکرد دانه و رشد ریشه، کارایی مصرف آب را نیز افزایش داد (Lusiba et al., 2018). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مصرف کود زیستی فسفر نیز اثر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب سویا داشت و این صفت را به‌میزان ۲۵ درصد بهبود بخشید (جدول ۵). باکتری‌های حل‌کننده فسفات با افزایش جذب عناصر غذایی، تحریک فتوسنتز گیاه و افزایش زیست‌توده گیاه باعث افزایش عملکرد نهایی محصول می‌شوند (Matuszak-Slamani et al., 2017) مجموع این عوامل می‌تواند به گیاه کمک نموده تا به‌ازای آب مصرفی، ماده خشک بیشتری تولید نموده و کارایی مصرف آب افزایش یابد. در یک تحقیق که اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات در سطوح مختلف آبیاری در گیاه گندم (*Triticum aestivum*) مورد ارزیابی قرار گرفت، گزارش شد که این ریزجانداران چه به‌صورت منفرد و چه در کنار مصرف کود فسفر، کارایی مصرف آب را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (Azami-Atajan et al., 2020). در پژوهش حاضر، محلول‌پاشی اسید هیومیک به‌میزان چهار و دو گرم در لیتر نیز نسبت به عدم مصرف آن، کارایی مصرف آب را به‌ترتیب ۲۶ و ۱۷ درصد افزایش داد (جدول ۵). همان‌طور که در بررسی صفات قبلی ذکر شد، اسید هیومیک اثر مثبتی بر عملکرد زیستی (شکل ۲) و عملکرد دانه (جدول ۴) سویا داشت؛ بنابراین می‌توان بیان نمود که این ماده محرک رشد با بهبود ظرفیت فتوسنتزی گیاه و تحریک رشد ریشه (Dehsheikh et al., 2020; De Hita et al., 2020; Lingaraju et al., 2016; Nadir et al., 2014)، رشد و عملکرد سویا را بهبود و باعث افزایش کارایی مصرف آب گردیده است.

کارایی زراعی فسفر

طبق نتایج تجزیه واریانس، کارایی زراعی فسفر در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر بیوفسفات، اسید هیومیک و برهم‌کنش دوگانه آن‌ها قرار گرفت (جدول ۶).

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های کارایی مصرف آب، تحت تأثیر اثر اصلی کود فسفر، بیوفسفات و مصرف اسید هیومیک

Table 5- Means comparison of water use efficiency of soybean affected by the main effect of phosphorus fertilizer, biophosphate, and humic acid

کارایی مصرف آب سویا Soybean water use efficiency ($kg.m^{-3}$)						
اسید هیومیک Humic acid ($g.l^{-1}$)			بیوفسفات Biophosphate		کود فسفر Phosphorus fertilizer	
4	2	0	مصرف Use	عدم مصرف No-use	مصرف Use	عدم مصرف No-use
0.681 a	0.607 b	0.514 c	0.676 a	0.538 b	0.683 a	0.491 b

* میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در هر عامل، تفاوت معنی‌داری بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند

* Means in each factor, with at least one similar letter, are not significantly different based on Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس کارایی زراعی فسفر

Table 6- Results of analysis of variance of phosphorus agronomic efficiency

منبع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares
بلوک Block	2	3.42*
بیوفسفات (BP) Biophosphate	1	77.76**
اسید هیومیک (H) Humic acid	2	22.96**
BP × H	2	34.89**
خطای آزمایشی Error	10	1.69
ضریب تغییرات C.V. (%)		4.48

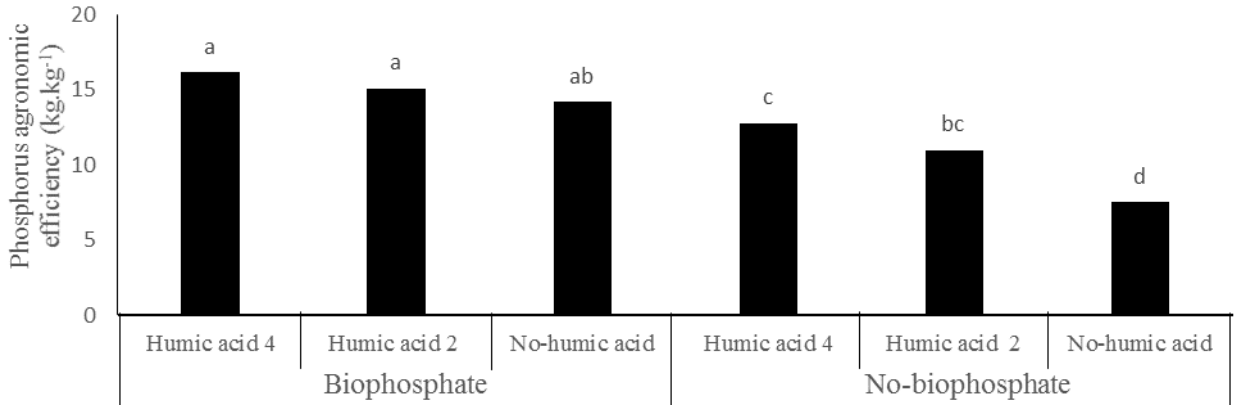
**، * و ns: به‌ترتیب، معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار

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

مقایسه میانگین‌های کارایی زراعی فسفر تحت تأثیر برهم‌کنش دوگانه بیوفسفات و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین مقدار این صفت از تیمار مصرف بیوفسفات + محلول‌پاشی چهار گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد که با تیمار مصرف بیوفسفات + محلول‌پاشی دو گرم در لیتر اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۷). محلول‌پاشی چهار گرم در لیتر اسید هیومیک در سطح بدون بیوفسفات توانست کارایی زراعی فسفر را در حد حضور بیوفسفات و حتی کاربرد دو گرم در لیتر اسید هیومیک (در شرایط حضور بیوفسفات) افزایش دهد، لذا می‌توان به نقش قابل توجه اسید هیومیک غلیظ (چهار گرم در لیتر) در بهبود کارایی جذب فسفر سویا پی برد. در بررسی برهم‌کنش باکتری‌های حل‌کننده فسفات و مصرف اسید هیومیک در سطوح مختلف کود فسفر گزارش شد که بیشترین کارایی زراعی فسفر از تلقیح بذور ماش با باکتری‌های حل‌کننده فسفات به همراه مصرف خاکی اسید هیومیک به‌دست آمد (Sarwar et al., 2014). در گندم نیز تلقیح بذور با بیوفسفات و محلول‌پاشی اسید هیومیک افزایش قابل توجهی در کارایی استفاده از فسفر ایجاد کرده است (Niazy et al., 2016).

درصدهای روغن و پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس‌ها نشان داد که کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر درصدهای روغن و پروتئین دانه سویا داشتند. تمامی برهم‌کنش‌های دوگانه و برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد بر درصدهای روغن و پروتئین دانه معنی‌دار شدند (جدول ۲).



شکل ۷- مقایسه میانگین‌های کارایی زراعی فسفر، تحت تأثیر مصرف بیوفسفات و اسید هیومیک (۲ و ٤ گرم در لیتر اسید هیومیک است)

Fig. 7- Mean comparison of phosphorus agronomic efficiency affected by humic acid and biophosphate (2 and 4 are grams per liter of humic acid)

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

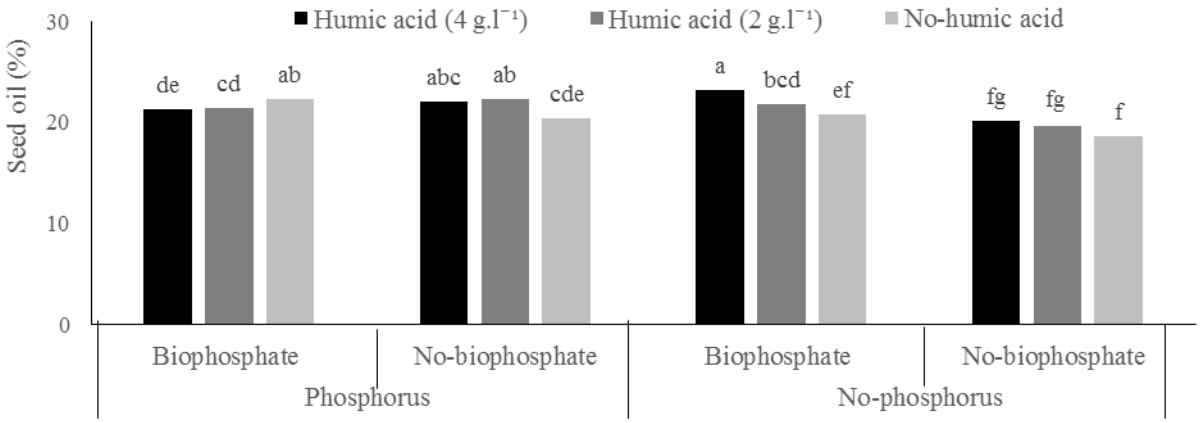
* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

مقایسه میانگین‌ها، تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین درصد روغن و پروتئین دانه در تیمار عدم مصرف کود فسفر و مصرف همزمان بیوفسفات و چهار گرم در لیتر اسید هیومیک تولید شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای مصرف کود فسفر + عدم مصرف بیوفسفات + مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک، مصرف کود فسفر + عدم مصرف بیوفسفات + مصرف دو گرم در لیتر اسید هیومیک و مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + عدم مصرف اسید هیومیک نداشت (شکل‌های ۸ و ۹). طبق شکل ۸ در شرایط کمبود فسفر قابل جذب در خاک، مصرف بیوفسفات اهمیت بیشتری از محلول‌پاشی اسید هیومیک دارد، زیرا در شرایط عدم مصرف بیوفسفات، تفاوت معنی‌داری بین درصد روغن دانه در سطوح مختلف اسید هیومیک مشاهده نمی‌شود. تحت شرایط مصرف کود فسفر و بیوفسفات، محلول‌پاشی اسید هیومیک منجر به کاهش درصد روغن دانه شد (شکل ۸) که به نظر می‌رسد، علت آن افزایش بیشتر عملکرد دانه باشد که در شکل ۶ به‌صورت شاخص برداشت بالاتر در این تیمار رخ داده است. نتایج تحقیقات مختلف ثابت نموده است که تأمین عناصر غذایی و افزایش فراهمی آن نقش مهمی در بهبود صفات کیفی گیاه از جمله محتوای روغن و پروتیین دانه‌ها دارد. در بین عناصر غذایی، گزارش شده است که عنصر فسفر نقش ضروری و معنی‌داری در تولید و افزایش روغن در رقم‌های مختلف سویا دارد (Khan et al., 2020). در بررسی برهم‌کنش اسید هیومیک و کودهای زیستی نسبت به تیمار شاهد بیان شده است که درصد پروتئین و عملکرد کیفی سویا افزایش داشته است (Lingaraju et al., 2016). این محققین بیان داشتند که تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی، جذب عناصر غذایی از جمله، پتاسیم، فسفر و نیتروژن افزایش یافته و در پی این امر، عملکرد، اجزای عملکرد و صفات کیفی گیاه سویا از جمله درصد روغن و پروتئین دانه‌ها افزایش یافت. در تحقیق دیگری نیز گزارش شد که بیشترین مقدار روغن سویا در تیمار تلقیح کودهای زیستی فسفر به‌دست آمد (Ghaly et al., 2020). در ذرت (Manzoor et al., 2021) و ماش (Hassan et al., 2017) نیز تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفات منجر به افزایش درصد پروتئین دانه شد. محلول‌پاشی اسید هیومیک نیز به‌عنوان یک ماده محرک رشد، با بهبود فعالیت فتوسنتزی، سنتز آنزیم‌ها و تحریک افزایش رشد ریشه و باعث افزایش تولید پروتئین در گیاه شده است (Lingaraju et al., 2016). افزایش درصد و عملکرد پروتئین تحت تأثیر مصرف اسید

هیومیک در سورگوم (*Sorghum bicolor*) نیز گزارش شده است (Ali et al., 2021).

نتیجه‌گیری

طبق نتایج به‌دست آمده در مورد صفات ارتفاع بوته، عملکرد زیستی، تعداد غلاف در بوته و شاخص برداشت، نبود فسفر و بیوفسفات، سودمندی محلول‌پاشی با اسید هیومیک را به‌شدت کاهش داد. البته محلول‌پاشی اسید هیومیک و تلقیح با بیوفسفات، هرکدام به‌طور جداگانه در افزایش معنی‌دار تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب مؤثر بودند و غلظت چهار گرم در لیتر اسید هیومیک در مجموع بهتر از دو گرم در لیتر عمل نمود.

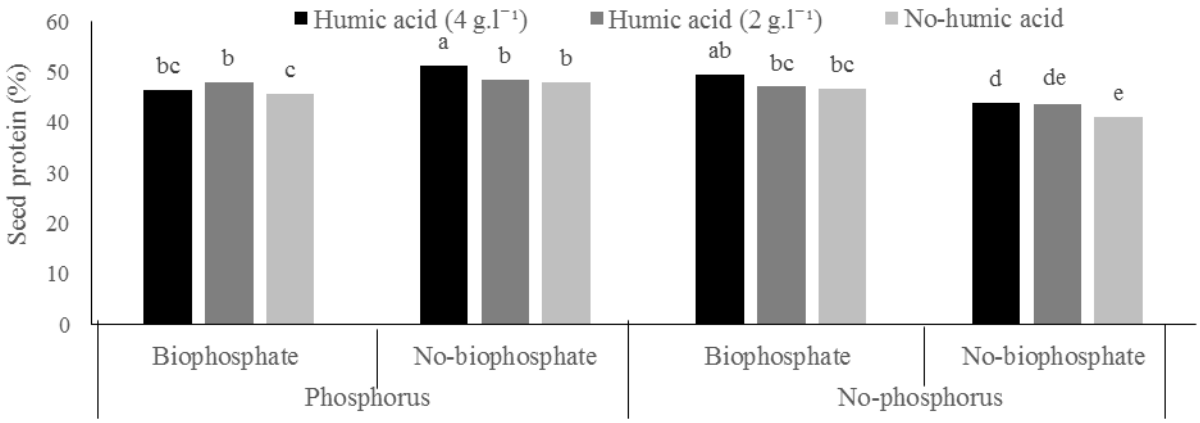


شکل ۸- مقایسه میانگین‌های درصد روغن دانه سویا، تحت تأثیر برهم‌کنش کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک

Fig. 8- Means comparison of soybean seed oil percent, affected by phosphorus fertilizer, biophosphate, and humic acid interaction

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.



شکل ۹- مقایسه میانگین‌های درصد پروتئین دانه سویا، تحت تأثیر برهم‌کنش کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک

Fig. 9- Means comparison of soybean seed protein percent affected by phosphorus fertilizer, biophosphate, and humic acid interaction

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

در شرایط نبود فسفر، محلول‌پاشی اسید هیومیک با هر دو غلظت به‌کار رفته، سبب افزایش وزن هزار دانه گردید. کارایی زراعی فسفر

نیز با مصرف اسید هیومیک افزایش یافت و تلقیح همزمان با بیوفسفات میزان افزایش کارایی زراعی فسفر را بیشتر کرد. در این پژوهش، درصد روغن دانه در شرایط کمبود فسفر به محلول‌پاشی اسید هیومیک و تلقیح با بیوفسفات واکنش مثبت نشان داد، امّا در حضور فسفر و بیوفسفات این واکنش منفی شد. واکنش درصد پروتئین دانه نیز به بیوفسفات و محلول‌پاشی اسید هیومیک کم بود. در مجموع، برای رسیدن به عملکرد مطلوب کمّی و کیفی سویا، محلول‌پاشی توأمان اسید هیومیک (چهار گرم در لیتر) و کاربرد بیوفسفات توصیه می‌شود.

References

1. Ali, A.Y.A., Ibrahim, M.E.H., Zhou, G., Elsiddig, A.M.I., Jiao, X., Zhu, G., & Gabralla, E. (2021). Humic acid and jasmonic acid improves the growth and antioxidant defense system in salt stressed-forage sorghum plants. *Research Journal Agriculture Biotechnology Science, 22*, 771-782. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-490134/v1 .
2. Azami-Atajan, F., Hammami, H., & Yaghoubzadeh, M. (2020). The application of plant growth promoting microorganisms and phosphate fertilizers on yield, yield components and water use efficiency of wheat at levels of irrigation water. *Journal of Crop Production, 12*(4), 1-24. (In Persian). DOI: 10.22069/EJCP.2020.17166.2268
3. Baldotto, L.E.B., Baldotto, M.A., Giro, V.B., Canellas, L.P., Olivares, F.L., & Bressan-Smith, B. (2009). Performance of 'vitória' pineapple in response to humic acid application during acclimatization. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33*, 979-990.
4. Canellas, L.P., & Olivares, F.L. (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 1*, 3. https://doi.org/10.1186/2196-5641-1-3 .
5. De Hita, D., Fuentes, M., Zamarreno, A.M., Ruiz, Y., & Garcia-Mina, J.M. (2020). Culturable bacterial endophytes from sedimentary humic acid-treated plants. *Frontiers in Plant Science, 11*, 837. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00837 .
6. Dehsheikh, A.B., Sourestani, M.M., Zolfaghari, M., & Enayatizamir, N. (2020). Changes in soil microbial activity, essential oil quantity, and quality of Thai basil as response to biofertilizers and humic acid. *Journal of Cleaner Production, 256*, 120439. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120439 .
7. El-Sheshtawy, A.A., Hager, M.A., & Shawer, S.S. (2019). Effect of bio-fertilizer, phosphorus source and humic substances on yield, yield components and nutrients uptake by barley plant. *Journal of Biological Chemistry and Environmental Sciences, 14*, 279-300.
8. Ghaly, F.A., Abd-Elhamied, A.S., & Shalaby, N.S. (2020). Effect of bio-fertilizer, organic and mineral fertilizers on soybean yield and nutrients uptake under sandy soil conditions. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 11*(11), 653-660. DOI: 10.21608/jssae.2020.135739 .
9. Ghasemi, E., Tavakoli, M.R., & Zabihi, H.R. (2012). The effect of nitrogen, potassium and humic acid on vegetative growth, uptake of nitrogen and potassium in potato mini-tubers under greenhouse conditions. *Journal of Agriculture and Plant Breeding, 8*(1), 56-39.
10. Quaggiotti, S., Ruperti, B., Pizzeghello, D., Francioso, O., Tugnoli, V., & Nardi, S. (2004). Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Experimental Botany*, 55(398), 803-13. DOI: 10.1093/jxb/erh085 .
11. Hassan, W., Bashir, S., Hanif, S., Sher, A., Sattar, A., Wasaya, A., & Hussain, M. (2017). Phosphorus solubilizing bacteria and growth and productivity of mung bean (*Vigna radiata*). *Pakistan Journal of Botany, 49*(3), 331-336.
12. Jindo, K., Canellas, L.P., Albacete, A., Figueiredo dos Santos, L., Frinhani Rocha, R.L., Carvalho Baia, D., & Olivares, F.L. (2020). Interaction between humic substances and plant hormones for phosphorous acquisition. *Agronomy, 10*(5), 640. https://doi.org/10.3390/agronomy10050640 .
13. Khan, B.A., Hussain, A., Elahi, A., Adnan, M., Amin, M.M., Toor, M.D. & Ahmad, R. (2020). Effect of phosphorus on growth, yield and quality of soybean (*Glycine max* L.); A review. *International Journal of Applied Research, 6*(7), 540-545.

14. Lingaraju, N.N., Hunshal, C.S., & Salakinkop, S.R. (2016). Effect of biofertilizers and foliar application of organic acids on yield, nutrient uptake and soil microbial activity in soybean. *Legume Research, 39*(2), 123-134. DOI: 10.18805/lr.v0iOF.6784 .
15. Liu, J., Qi, W., Li, Q., Wang, S.G., Song, C., & Yuan, X.Z. (2020). Exogenous phosphorus-solubilizing bacteria changed the rhizosphere microbial community indirectly. *3 Biotech, 10*(4), 1-11. DOI: 10.1007/s13205-020-2099-4
16. Lombardo, M.C., & Lamattina, L. (2012). Nitric oxide is essential for vesicle formation and trafficking in arabidopsis root hair growth. *Journal of Experimental Botany, 63*, 4875-4885. https://doi.org/10.1093/jxb/ers166 .
17. Lusiba, S., Odhiambo, J., & Ogola, J. (2018). Growth, yield and water use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum*): response to biochar and phosphorus fertilizer application. *Archives of Agronomy and Soil Science, 64*(6), 819-833. DOI: 10.1080/03650340.2017.1407027 .
18. Maes, Sh., De Reu, K., Van Weyenberg, S., Lories, B., Heyndrickx, M., & Steenackers, H. (2020). *Pseudomonas putida* as a potential biocontrol agent against *Salmonella Java* biofilm formation in the drinking water system of broiler houses. *BMC Microbiology, 20*, 373. https://doi.org/10.1186/s12866-020-02046-5.
19. Mahmood, Y.A., Ahmed, F.W., Mohammed, I.Q., & Wheib, K.A. (2020). Effect of organic, mineral fertilizers and foliar application of humic acid on growth and yield of corn (*Zea mays* L.). *Indian Journal of Ecology, 47*(10), 39-44.
20. Malakouti, M.J. (2014). Optimal Fertilizer Use Recommendation for Agricultural Products in Iran. Mobaleghan Press, 318 p. ISBN: 9789642614950.
21. Manzoor, S., Rasheed, M., Jilani, G., Ullah, M.A., Hussain, S.S., Asadullah, M., & Shaheer, G. (2021). Integration of phosphate solubilising bacteria, sulphur oxidizing bacteria with NPK on maize (*Zea mays*). *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series B: Biological Sciences, 64*(1), 43-48. DOI: 10.52763/PJSIR.BIOL.SCI.64.1.2021.43.48 .
22. Matuszak-Slamani, R., Bejger, R., Ciesla, J., Bieganowski, A., Koczanska, M., Gawlik, A., & Golębiowska, D. (2017). Influence of humic acid molecular fractions on growth and development of soybean seedlings under salt stress. *Plant Growth Regulation, 83*(3), 465-477. DOI: 10.1007/s10725-017-0312-1.
23. Mazaheri, D., & Majnon Hoseini, N. (2001). Fundamental of Agronomy. Tehran University Press, 320 p. (In Persian)
24. Mohammadi, G.R., Chatrnour, S., Jalali-honarmand, S., & Kahrizi, D. (2015). The effects of planting arrangement and phosphate biofertilizer on soybean under different weed interference periods. *Acta Agriculturae Slovenica, 105*(2), 313-322. DOI: 10.14720/aas.2015.105.2.14.
25. Nadir, B., Muhammad, Y., Wajid, P. A., Shah, F., Bashir, U., Ghulam, Q., & Ahmed, Z.I. (2014). Integrated effect of phosphate solubilizing bacteria and humic acid on physiomorphic attributes of maize. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 3*(6), 549-554.
26. Narula, N., Kumar, V., Bel, R.K., Deubel, A., Gransee, A., & Merbach, W. (2000). Effect of P-solubilizing *Azotobacter chroococcum* on N, P and K uptake in P-responsive wheat genotypes grown under greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition, 163*, 393-398. https://doi.org/10.1002/1522-2624 .
27. Niazy, M., Khafagy, H., & Helal, R. (2016). Phosphorus efficiency in wheat as affected by foliar spray with zinc, humic acid and biofertilizer (*Bacillus megatherium* sp.) addition under calcareous soil conditions. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 7*(8), 529-539. DOI: 10.21608/JSSAE.2016.39767.
28. Parvizi, Y., & Nabati, E. (2004). The effect of irrigation cycle and livestock manure on water use efficiency and quantitative and qualitative yield of grain corn. *Journal of Research and Construction, 63*, 21-29.
29. Quaggiotti, S., Ruperti B., Pizzeghello, D., Francioso, O., Tugnoli, & V., Nardi, S. (2004). Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Experimental Botany, 55*(398), 803-813.
30. Sadeghi, F., & Aboutalebian, M.A. (2019). Response of seed and oil yields and phosphorus agronomic efficiency of soybean to simultaneous placement of nitrogen with phosphorus under drought stress. *Journal of Crop*

Production and Processing, *9*, 191-204. (In Persian). DOI: 10.47176/jcpp.9.3.26305.

31. Sarwar, M., Hyder, S.I., Akhtar, M.E., Tabassam, T., & Malik, S.R. (2014). Integrated effects of humic acid and biofertilizer on yield and phosphorus use efficiency in mungbean under rainfed condition. *World Journal of Agricultural Sciences*, *2*(3), 040-046.
32. Siswana, S.R., Sembiring, M., & Hanum, H. (2019). The effect of phosphate solubilizing microbes and chicken manure in increasing the P availability and growth of green beans (*Phaseolus radiatus* L.) on Andisol. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 260(1), 012160. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/260/1/012160.
33. Turuko, M., & Mohammed, A. (2014). Effect of different phosphorus fertilizer rates on growth, dry matter yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *World Journal of Agricultural Research*, *2*(3), 88-92. DOI: 10.12691/wjar-2-3-1.
34. Winarso, S., Sulistyanto, D., & Eko, H. (2017). Effects of humic compounds and phosphate-solubilizing bacteria on phosphorus availability in an acid soil. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, *3*(7), 232-240.
35. Yousefi, A., Mirzaeitalarposhti, R., Aghamir, F.S., & Nabati, J. (2020). Effect of nitrogen fixating, potassium and phosphorus solubilizing bacteria on mungbean (*Vigna radiata*) yield and components yield. *Environmental Sciences*, *18*(3), 1-14. https://doi.org/10.29252/envs.18.3.1.
36. Zaki, N.M., Hassanein, A.G.A.M., & Mohamed, M.H. (2017). Effect of organic and bio-fertilizer on yield and some chemical composition of two peanut cultivars under newly reclaimed sandy soil condition. *Middle East Journal of Applied Sciences*, *7*(4), 937-943.
37. Zandonadi, D.B., Canellas, L.P., & Façanha, A.R. (2007). Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H^+ pumps activation. *Planta*, *225*, 1583-1595. DOI: 10.1007/s00425-006-0454-2.

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

Research Article
Vol. 15, No. 4, 2024, p. 789-808

Effect of Application of Different Levels of Chemical Fertilizers and Pelleted Poultry Manure on Yield and Quality of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Nuts under Sanandaj Conditions

Ahmad Naseri [1] and Gholamreza Heidari [2*]

1- Former M.Sc. Student, Department of Production Engineering and Plant Genetics, University of Kurdistan, Iran.
2- Associate Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, University of Kurdistan, Iran.
(*- Corresponding author's Email: g.heidari@uok.ac.ir)

Received: 02-05-2022
Revised: 22-07-2022
Accepted: 31-08-2022
Available Online: 31-08-2022

How to cite this article:
Naseri, A., & Heidari, G. (2024). Effect of application of different levels of chemical fertilizers and pelleted poultry manure on yield and quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) nuts under Sanandaj conditions. *Journal of Agroecology*, *15*(4), 789-808.
DOI: 10.22067/agry.2022.76016.1105

Introduction

Utilization of different plant nutrition systems in terms of optimal use of climatic factors, agricultural management and consumption of agricultural inputs can be an effective way to increase production and reduce the use of chemical fertilizers. Under such conditions, using organic manures can protect the environment, produce healthy agricultural products ,provide better nutritional conditions for crops, and have a favorable effect on plant growth. Organic manures are natural and safe products. Organic manures positively affect plant growth by increasing porosity and permeability, reducing soil bulk density, and increasing soil water-holding capacity. The combined use of chemical and organic fertilizers as a correct and rational management system, in addition to reducing the use of chemical fertilizers and preventing their harmful effects on surface and groundwater, can maintain the nutritional balance in plants and increase their yield. Recognizing the significance of integrating organic and chemical fertilizers in sustainable agriculture, this study was undertaken to examine the variations in yield and yield components of sunflower nuts. The investigation focused on utilizing different levels of chemical fertilizers and pelleted poultry manures.

Materials and Methods

This experiment was performed as a randomized complete block design with 11 treatments in three replications in the University of Kurdistan research farm in 2018. Experimental treatments including poultry manure in combination with chemical fertilizers, including 1000 kg of poultry manure + zero chemical fertilizer, 1000 kg of poultry manure + 25% of recommended chemical fertilizer, 1000 kg of poultry manure + 50% of recommended chemical fertilizer, 2000 kg poultry manure + zero chemical fertilizer, 2000 kg poultry manure + 25% of recommended chemical fertilizer, 2000 kg poultry manure + 50% of recommended chemical fertilizer, 4000 kg poultry manure + zero chemical fertilizer, 4000 kg poultry manure + 25% of recommended chemical fertilizer, 4000 kg Poultry manure + 50% of recommended chemical fertilizer, 100% chemical fertilizer

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https:// DOI: 10.22067/agry.2022.76016.1105

application (recommended) and no fertilizer application. This experiment measured traits such as plant height, head diameter, 1000-seed weight, number of seeds per head, biological yield, and grain yield.

Results and Discussion

The experimental results highlighted the positive impact of combined poultry and chemical fertilizer treatments on grain yield and yield components. This included increasing the number of grains per head, maintaining a 1000-grain weight by enhancing the number of grains per head, and boosting biological yield, grain yield, and harvest index. Additionally, improvements were observed in grain quality, with elevated protein, oil, phosphorus, and potassium content in sunflower seeds. Notably, the most favorable outcomes in terms of grain yield were observed in plants treated with 4000 kg of poultry manure + 25% chemical fertilizer (1413 $kg.ha^{-1}$), those without poultry manure + 100% chemical fertilizer (1411.2 $kg.ha^{-1}$), and those treated with 4000 kg of poultry manure + 50% chemical fertilizer (1367.07 $kg.ha^{-1}$). These treatments exhibited the highest grain yield, representing a substantial increase of 60.57%, 60.3%, and 54.55% compared to the control treatment (880 $kg.ha^{-1}$). Treatments of 4000 kg poultry manure + 25% chemical fertilizer, no poultry manure + 100% chemical fertilizer, and 4000 kg poultry manure + 50% chemical fertilizer had the highest percentage of harvest index, respectively. Treatments of 1000 kg poultry manure + 25% chemical fertilizer, 2000 kg poultry manure without chemical fertilizer, 1000 kg poultry manure without chemical fertilizer and control treatment had the lowest percentage of harvest index. Treatment application of 1000 kg poultry manure + 25% chemical fertilizer (39.84%) had the highest percentage of seed oil, but there was no significant difference with other fertilizer treatments, and only the control treatment (32.91%) had a significant difference. The highest amounts of grain protein, phosphorus and potassium were obtained from the combined treatment of 25% chemical fertilizer + 2000 kg of poultry manure.

Conclusion

In general, due to the negative effects of chemical fertilizers, the combined treatment of 4000 $kg.ha^{-1}$ of poultry manure + 25% of the recommended chemical fertilizer with the highest grain yield was the best fertilizer treatment. From the results of this study, it is inferred that using organic and chemical fertilizers in sunflower cultivation, in addition to achieving acceptable yields and improving grain quality, can increase the efficiency of fertilizer application and use of chemical fertilizers that negatively affect the environment and environment. Crop systems have proven to shrink and move towards achieving sustainable agricultural goals.

Keywords: Percentage of seed oil, percentage of grain protein, harvest index, head diameter, 1000-grain weight

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ۸۰۸-۷۸۹

اثر کاربرد سطوح مختلف کودهای شیمیایی و کود مرغی پلیت شده بر عملکرد و کیفیت دانه آفتابگردان آجیلی (*Helianthus annuus* L.) در شرایط سنندج

احمد ناصری[۱] و غلامرضا حیدری[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۹

چکیده

با توجه به اهمیت کودهای آلی و شیمیایی در کشاورزی پایدار، پژوهشی با هدف بررسی عملکرد و کیفیت دانه آفتابگردان آجیلی (*Helianthus annuus* L.) تحت تأثیر مصرف سطوح مختلف کودهای مرغی پلیت شده و شیمیایی اجرا شد. این آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۱ تیمار در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۷- ۱۳۹۶ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل عدم مصرف کود، مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (توصیه شده)، ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی، ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی، ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی، ۱۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی، ۱۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی، ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی، ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی، ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی، ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی بود. نتایج آزمایش نشان‌دهنده تأثیر مثبت تیمارهای تلفیقی کود مرغی و شیمیایی بر عملکرد و کیفیت دانه آفتابگردان بود. بیشترین عملکرد دانه از ترکیب تیماری ۲۵ درصد کود شیمیایی + ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی حاصل شد. بیشترین درصد روغن دانه با کاربرد ۲۵ درصد کود شیمیایی + ۱۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی حاصل گردید. بیشترین مقادیر پروتئین، فسفر و پتاسیم دانه از تیمار کاربرد ۲۵ درصد کود شیمیایی + ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی حاصل شد. در کل، تیمار ترکیبی مصرف ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده با داشتن بیشترین عملکرد دانه، بهترین تیمار کودی بود. از نتایج این تحقیق استنباط می‌شود که می‌توان با کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی در زراعت آفتابگردان علاوه‌بر حصول عملکرد قابل قبول، به بهبود کیفیت دانه منجر شد و مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: درصد پروتئین دانه، درصد روغن دانه، شاخص برداشت، قطر طبق، وزن هزار دانه

مقدمه

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) به‌عنوان پنجمین گیاه تولیدکننده روغن (بعد از سویا، کلزا، پنبه و بادام‌زمینی) و تولیدکننده سوخت زیستی در جهان مطرح است (Zehra et al., 2020). روغن دانه آفتابگردان به‌واسطه دارا بودن مقادیر فراوانی از اسیدهای چرب اشباع نشده نظیر اسید لینولئیک و اسید اولئیک جزو گیاهان زراعی با اهمیت می‌باشد (Akbari et al., 2009). ارقام زراعی آفتابگردان به دو تیپ روغنی و آجیلی تقسیم‌بندی می‌شوند، در نوع آجیلی، درصد روغن کمتر از ۳۰ درصد است، ولی دارای درصد پروتئین بالایی می باشد و جهت مصرف آجیلی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Lu & Hoeft, 2007). در کشاورزی رایج به‌منظور افزایش رشد و عملکرد گیاهان و جبران کمبود عناصر غذایی خاک اغلب از کودهای شیمیایی

۱- دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد، دانشگاه کردستان، ایران.
۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه کردستان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: g.heidari@uok.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2022.76016.1105

استفاده می‌شود. مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی موجب افزایش بروز آلودگی در بخش‌های مختلف محیط زیست می‌شود (Qaswar et al., 2020). علاوه‌براین، استفاده مداوم از کودهای شیمیایی عملکرد گیاهان زراعی را به‌علت اسیدی شدن خاک، افت ویژگی‌های مطلوب فیزیکی و شیمیایی خاک و عدم وجود عناصر کم‌مصرف در کودهای NPK کاهش می‌دهد (Anediran et al., 2005). مصرف کودهای شیمیایی باعث تجزیه سریع ماده آلی خاک می‌شود که در نهایت، به تخریب ساختمان خاک منجر می‌گردد (Diacono & Montemurro, 2010).

بهره‌گیری از نظام‌های مختلف تغذیه گیاه از نظر استفاده بهینه از عوامل اقلیمی، مدیریت زراعی و مصرف نهاده‌های کشاورزی می‌تواند کمک مؤثری به افزایش تولید و کاهش مصرف کودهای شیمیایی نماید. تحت چنین شرایطی به‌کارگیری کودهای آلی می‌تواند موجب حفظ محیط زیست و تولید محصولات کشاورزی سالم شود و شرایط تغذیه‌ای بهتری برای گیاه فراهم آورد و تأثیر مطلوبی بر رشد گیاهان داشته باشد (Qaswar et al., 2020). کودهای آلی فرآورده‌های طبیعی و بدون خطری هستند که برای دست‌یابی به اهداف کشاورزی پایدار مورد استفاده قرار می‌گیرند (Maeder et al., 2002). کودهای آلی به‌واسطه افزایش تخلخل و نفوذپذیری، کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک و افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک، اثرات مثبتی بر رشد گیاهان دارند (Wang et al., 2002). از آنجایی که آزاد شدن عناصر غذایی از کودهای آلی بسیار کند و تدریجی بوده و شاید نتوانند در مدت زمانی کوتاه، نیاز گیاهان را برطرف کنند، احتمال کمبود برخی عناصرغذایی وجود دارد (López-Valdez et al., 2011). مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی، به‌عنوان سیستم مدیریتی صحیح و منطقی می‌تواند علاوه‌برکاهش مصرف کودهای شیمیایی و جلوگیری از اثرات زیان‌آور آن‌ها بر آب‌های سطحی و زیرزمینی، توازن تغذیه‌ای در گیاهان را حفظ کرده و عملکرد آن‌ها را افزایش دهد (Qaswar et al., 2020). هدف از مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاهان، جذب کافی عناصر غذایی و رشد مطلوب گیاه با کمترین اثرهای منفی بر محیط زیست می‌باشد (Alley & Vanlauwe, 2009).

هنگامی که کودهای شیمیایی و آلی به‌صورت تلفیقی مصرف می شوند، عناصر غذایی موجود در کودهای شیمیایی به‌سرعت آزاد شده و به استقرار اولیه گیاه کمک می‌کنند، ولی معدنی شدن کودهای آلی به تدریج درطول فصل رشد انجام می‌گیرد و باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود. کاهش چگالی ظاهری خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و ساختمان گرانول‌های خاک، افزایش فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی و آزادسازی عناصر غذایی موجود در خاک از دلایل افزایش عملکرد دانه آفتابگردان در نظام‌های کشاورزی تلفیقی و پایدار می‌باشد (Mohammadi et al., 2013). نتایج آزمایشی بر روی آفتابگردان آجیلی، حاکی از آن بود که کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی از طریق تأمین عناصر غذایی مورد نیاز بوته‌های آفتابگردان در مراحل حسّاس رشدی منجر به افزایش عملکرد و اجزای آن در آفتابگردان آجیلی می‌شود (Sarabi et al., 2022). احمد و جابین (Ahmad & Jabeen, 2009) با انجام پژوهشی گزارش کردند که کاربرد کود آلی ورمی کمپوست باعث افزایش ارتفاع گیاه، قطر ساقه و عملکرد بیولوژیک در آفتابگردان شد. آن‌ها این افزایش را به بهبود ساختمان خاک در نتیجه افزایش ظرفیت نگهداری آب، تهویه خوب و زهکشی مناسب نسبت دادند که رشد ریشه‌ها را افزایش داده و سبب افزایش جذب عناصر غذایی می‌گردد. مونیر و همکاران (Munir et al., 2007) با بررسی اثر تیمارهای مختلف تغذیه‌ای کودهای آلی، شیمیایی و تلفیقی بر گیاه آفتابگردان گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه در تیمارهای تلفیقی به‌دست آمد و صفات مرتبط با کیفیت دانه آفتابگردان مانند درصد روغن و پروتئین در تیمارهای تلفیقی (کود آلی و کود شیمیایی) به‌طور معنی‌داری بیشتر از مصرف هر یک از آن‌ها به‌تنهایی بوده است. در مطالعه‌ای دیگر، قدمچی و همکاران (Ghadamgahi et al., 2013) مشاهده کردند کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی در آفتابگردان آجیلی رقم قلمی به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد آن منجر شد. اکبری و همکاران (Akbari et al., 2009) گزارش کردند که سیستم تغذیه تلفیقی در آفتابگردان بیشترین عملکرد دانه را تولید می‌کند، به‌طوری‌که در سیستم تغذیه تلفیقی ۵۰ درصد آلی + ۵۰ درصد شیمیایی (۱۶ تن کود گاوی پوسیده در هکتار + ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره) بیشترین میزان عملکرد دانه به‌دست آمد. اسماعیلیان و همکاران (Esmaeilian et al., 2014) در پژوهشی تأثیر مصرف کودهای آلی، شیمیایی و تلفیقی آن‌ها بر گیاه آفتابگردان در شرایط تنش خشکی را بررسی و گزارش کردند که تیمارکودهای آلی (۲۰ تن در هکتار کود گوسفندی و ۱۰ تن در هکتار کود مرغی) و تیمار تلفیقی (۱۵ تن در هکتار کود گاوی + نصف کود شیمیایی توصیه شده) عملکرد دانه و

ویژگی‌های رشد گیاه آفتابگردان را در شرایط تنش خشکی به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها افزایش می‌دهند. با توجه به اهمیت کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی در کشاورزی پایدار، این پژوهش با هدف بررسی تغییرات عملکرد و اجزای عملکرد دانه آفتابگردان آجیلی با مصرف سطوح مختلف کودهای مرغی پلیت شده و شیمیایی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۱ تیمار در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۷- ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کود مرغی پلیت شده در تلفیق با کودهای شیمیایی شامل ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + کود شیمیایی صفر، ۱۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده، ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + کود شیمیایی صفر، ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی، ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی، ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + کود شیمیایی صفر، ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی، ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی، مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (توصیه شده) و عدم مصرف کود بود (میزان کود مصرفی، کیلوگرم در هکتار می‌باشد). کود مرغی یکی از انواع کودهای دامی و یک منبع ماده آلی باارزش برای تقویت خاک است. این کود آلی علاوه‌بر تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، به افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک کمک می‌کند و از نظر داشتن نیتروژن بر سایر کودهای دامی ارجحیت دارد (Lawrence *et al*., 2008). سطوح کود مرغی مصرف شده در تیمارهای آزمایشی بر اساس مقادیر توصیه شده عناصر غذایی اصلی برآورد گردید. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مکان انجام آزمایش در جدول ۱، میزان کود شیمیایی توصیه شده در جدول ۲ و آنالیز کود مرغی پلیت شده در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مکان انجام آزمایش

Table 1- Some physical and chemical properties of soil at the experiment site

بافت Texture			ماده آلی	هدایت	pH	عناصر میکرو Micro nutrients			پتاسیم قابل	فسفر قابل
شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	Organic matter (%)	الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)		بر Br ($mg.kg^{-1}$)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}$)	جذب K ($mg.kg^{-1}$)	جذب P ($mg.kg^{-1}$)
24.2	38.4	37.4	0.76	0.49	7.62	0.7	2.2	0.8	320	12.4

جدول ۲- مقادیر کود شیمیایی بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب (Nourgholipour & Mirzapour, 2016)

Table 2- Amounts of chemical fertilizers based on the soil test results and recommendations of the Soil and Water Research Institute

نوع کود Fertilizer type	مقدار مصرف در هکتار Consumption amount ($kg.ha^{-1}$)	زمان و روش مصرف Consumption time and method
اوره Urea	350	یک‌سوم هنگام کاشت، یک‌سوم در ۸ برگی و یک‌سوم قبل از گلدهی One-third at planting, one-third at 8 leaves, and one-third before flowering
سولفات پتاسیم Potassium sulfate	90	قبل از کاشت همراه با شخم وارد خاک گردید Before planting, it was plowed into the soil
سوپرفسفات تریپل Triple superphosphate	150	قبل از کاشت به‌صورت نواری مصرف شد It was used as a strip before planting
گوگرد (گرانوله) Sulfur (granular)	220	قبل از کاشت همراه با شخم وارد خاک گردید Before planting, it was plowed into the soil

جدول ۳- آنالیز شیمیایی کود مرغی پلیت شده

Table 3- Chemical analysis of pelleted poultry manure

رطوبت Humidity (%)	منیزیم Mg (%)	کلسیم Ca (%)	گوگرد S (%)	پتاسیم K (%)	فسفر P (%)	نیتروژن N (%)
12	1.4	2.3	0.7	2.6	2.6	5

عملیات تهیه زمین شامل شخم و دیسک به‌طور یکسان برای تمام تیمارها صورت گرفت. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت به‌طول چهار متر، فاصله بین ردیف‌های کشت، ۷۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف، ۲۰ سانتی‌متر بود (Khajehpour, 2004). ابعاد هر کرت ۴ × ۲/۸ متر، فواصل بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین تکرارها دو متر منظور گردید. بعد از آماده‌سازی زمین، بذر آفتابگردان آجیلی از توده‌ی بومی سنقر با تراکم بوته ۷/۱ بوته در مترمربع در تاریخ ۱۵ خرداد ماه ۱۳۹۷ کشت گردید. زمانی که پشت طبق‌ها زرد مایل به قهوه‌ای و برگچه‌های کناری طبق قهوه‌ای شدند، برداشت انجام پذیرفت. برای تعیین تأثیر مصرف کودهای مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه با رعایت اثر حاشیه، مساحتی به‌اندازه دو مترمربع برداشت گردید و صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، قطر طبق، وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد.

برای تعیین غلظت عناصر غذایی در دانه از بذرهای برداشت شده در مرحله رسیدگی از هر کرت آزمایشی به‌طور تصادفی نمونه‌برداری انجام شد. به‌منظور اندازه‌گیری درصد پروتئین دانه، ابتدا نیتروژن دانه به‌روش هضم تر با استفاده از دستگاه کجلدال تعیین شد. سپس درصد پروتئین دانه از حاصل ضرب درصد نیتروژن در ۶/۲۵ (معادله ۱) محاسبه گردید (Murru & Calvo, 2020).

معادله (۱) درصد پروتئین کل = درصد نیتروژن کل × ۶/۲۵

اندازه‌گیری میزان فسفر دانه به‌کمک دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد (Ryan *et al.*, 2007). به‌منظور اندازه‌گیری میزان پتاسیم ابتدا عصاره گیاهی تهیه و سپس با استفاده از فلیم فتومتر میزان پتاسیم اندازه‌گیری شد (Ryan *et al.*, 2007). جهت تعیین درصد روغن، از روش سوکسله با کمک حلال دی اتیل اتر استفاده شد (AOAC, 2005).

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و برای مقایسه‌ی میانگین تیمارها از آزمون LSD[1] (حداقل تفاوت معنی‌دار) استفاده شد و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) ارتفاع بوته آفتابگردان تحت تأثیر سطوح مختلف ترکیبات کودی قرار گرفت ($p\leq0.01$). بلندترین بوته‌های آفتابگردان (۱۹۵/۸۷ سانتی‌متر) در تیمار ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی مشاهده شد که نسبت به شاهد (بدون کود مرغی و شیمیایی) از افزایش ۲۱/۴۹ درصدی برخوردار بود. این تیمار به‌غیر از شاهد (۱۶۱/۲۳ سانتی‌متر) با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱). ارتفاع بوته در آفتابگردان با توجه به نیاز این گیاه به نور زیاد جهت تحریک فتوسنتز و افزایش سرعت رشد از اهمیت بالایی برخوردار است (Kaya *et al.*, 2006) (Muhsin *et al.*, 2021). کایا و همکاران طی آزمایشی نشان دادند، ارقام هیبرید آفتابگردانی که ارتفاع بوته‌ی بیشتری دارند در مقایسه با ارقام شاهد از عملکرد بالاتری نیز برخوردارند. کود مرغی با داشتن محتوای بالای نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سایر عناصر غذایی موجب بهبود حاصلخیزی خاک می‌گردد (Deksissa *et al.*, 2008)، و افزایش رشد ریشه و جذب بهتر آب را به دنبال دارد که به تبع آن سبب افزایش رشد رویشی و ارتفاع بوته آفتابگردان می‌شود. وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2020) دریافتند که کاربرد کودهای آلی به‌دلیل بهبود ویژگی‌های خاک، متعادل کردن ماده آلی خاک، افزایش دسترسی به عناصر غذایی و افزایش کارآیی مصرف آب، اثرات مثبتی بر رشد گیاهان دارند. مجیری و ارزانی (Mojiri & Arzani, 2003) طی آزمایشی بیان کردند که مصرف کود نیتروژن در آفتابگردان سبب افزایش طول دوره رشد می‌شود و ارتفاع بوته آفتابگردان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نتایج آزمایش انجام گرفته روی گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) نیز نشان داد که مصرف کود مرغی و اسبی به‌میزان ۲۰ تن در هکتار باعث افزایش ارتفاع گیاه و ماده خشک می‌شود (Ofosu-Anim & Leitch, 2009).

1- The least significant difference

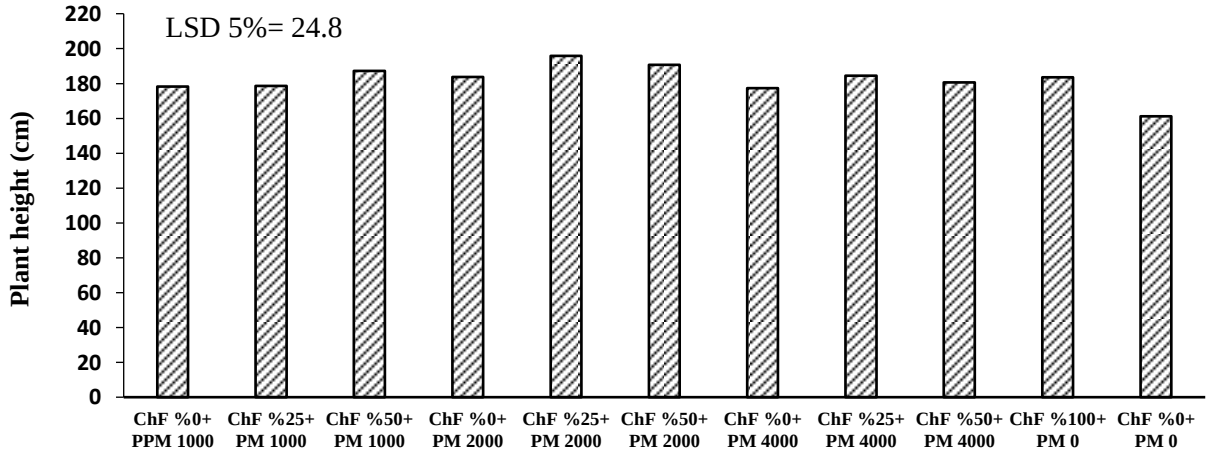
جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان متأثر از سطوح مختلف کود مرغی پلیت شده و کود شیمیایی

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of sunflower yield and yield components affected by different levels of poultry manure and chemical fertilizers

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares						
		ارتفاع بوته Plant height	قطر طبق Head diameter	تعداد دانه در طبق Seed number per head	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	823.5*	6.8*	39.6ns	166.7**	55498.1ns	3973.2ns	1.16ns
تیمارهای کودی Fertilizer treatments	10	737.07*	48.16**	5960.3**	48.6**	549717.4**	110507.0**	10.6**
خطا Error	20	237.8	2.01	301.9	6.58	43513.3	4203.8	0.48
ضریب تغییرات C.V (%)		8.4	7.6	5.2	16.2	6.0	5.6	2.9

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

Ns, * and **: represent non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین ارتفاع بوته آفتابگردان متأثر از سطوح مختلف ترکیبات کودی (شیمیایی + مرغی پلیت شده)

Fig. 1- Mean comparison of sunflower plant height affected by different fertilizer compounds (chemical + pelleted poultry manure)

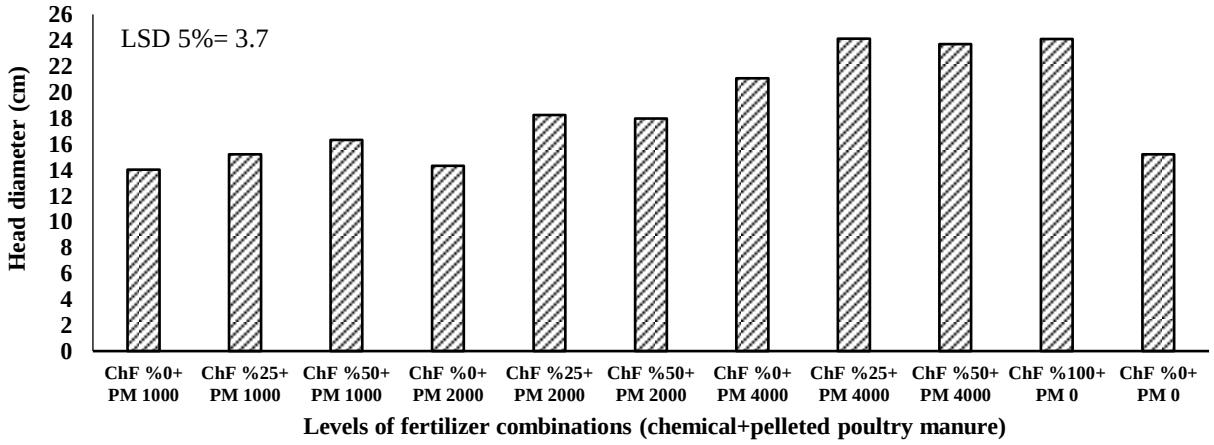
ChF: بیانگر مقدار مصرف کود شیمیایی به درصد و PM: بیانگر مقدار کاربرد کود مرغی پلیت شده به کیلوگرم می‌باشد

ChF: indicates the amount of chemical fertilizer application in percentage, and PM: indicates the amount of application of poultry manure in kilograms

قطر طبق آفتابگردان

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) حاکی از آن بود که میزان قطر طبق آفتابگردان تحت تأثیر سطوح مختلف ترکیبات کودی قرار گرفت ($p\leq0.01$). تیمار کاربرد ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی (۲۴/۱۳ سانتی‌متر) دارای بیشترین قطر طبق بود، که در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کود شیمیایی و کود مرغی) به‌میزان

۵۸/۷۵ درصد از قطر طبق بزرگ‌تری برخوردار بود. تیمار شاهد دارای کمترین قطر طبق (۱۵/۲ سانتی‌متر) بود که با تیمار کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + عدم مصرف کود شیمیایی در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۲). قطر طبق صفتی است که علاوه‌بر ژنتیک، تحت تأثیر عوامل محیطی نیز قرار می‌گیرد و به‌شدت به منابع مختلف کود نیتروژن پاسخ می‌دهد (Rigby & Caceres, 2001). موک‌گولو و همکاران (Mokgolo *et al*., 2019) طی آزمایشی گزارش کردند که مصرف کود مرغی از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند افزایش نفوذپذیری و کاهش چگالی ظاهری خاک، می‌تواند سبب افزایش رشد و عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان شود. در همین ارتباط آبومر و همکاران (Abumere *et al*., 2019) نیز نشان دادند کاربرد کود مرغی در آفتابگردان به بهبود ویژگی‌های خاک از جمله افزایش ماده آلی خاک، کاهش چگالی ظاهری، افزایش نفوذپذیری خاک، افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها، رهاسازی عناصر غذایی و رطوبت قابل دسترس در خاک منجر می‌شود که به تبع آن عملکرد و صفات مرتبط با آن افزایش پیدا می‌کنند. نتایج مطالعه جوانمرد و شکاری (Javanmard & Shekari, 2016) حاکی از آن بود که در بین کودهای آلی مرغی و گاوی مورد استفاده، بیشترین قطر طبق با مصرف کود مرغی حاصل می‌شود، به‌طوری‌که در مقایسه با عدم مصرف کودآلی قطر طبق ۹/۳۲ درصد افزایش یافت. اسماعیلیان و همکاران (Esmaeilian *et al*., 2014) نیز طی مطالعه‌ای، بیشترین قطر طبق آفتابگردان را با کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود مرغی و مصرف ۱۵ تن در هکتار کود گاوی + ۵۰ درصد میزان توصیه شده کود شیمیایی مشاهده کردند.



شکل ۲- مقایسه میانگین قطر طبق آفتابگردان متأثر از سطوح مختلف ترکیبات کودی (شیمیایی+ مرغی پلیت شده)

Fig. 2- Mean comparison of sunflower head diameter affected by different fertilizer compounds (chemical + pelleted poultry manure)

ChF: بیانگر مقدار مصرف کود شیمیایی به درصد و PM: بیانگر مقدار کاربرد کود مرغی پلیت شده به کیلوگرم می‌باشد.

ChF: indicates the amount of chemical fertilizer application in percentage, and PM: indicates the amount of application of poultry manure in kilograms.

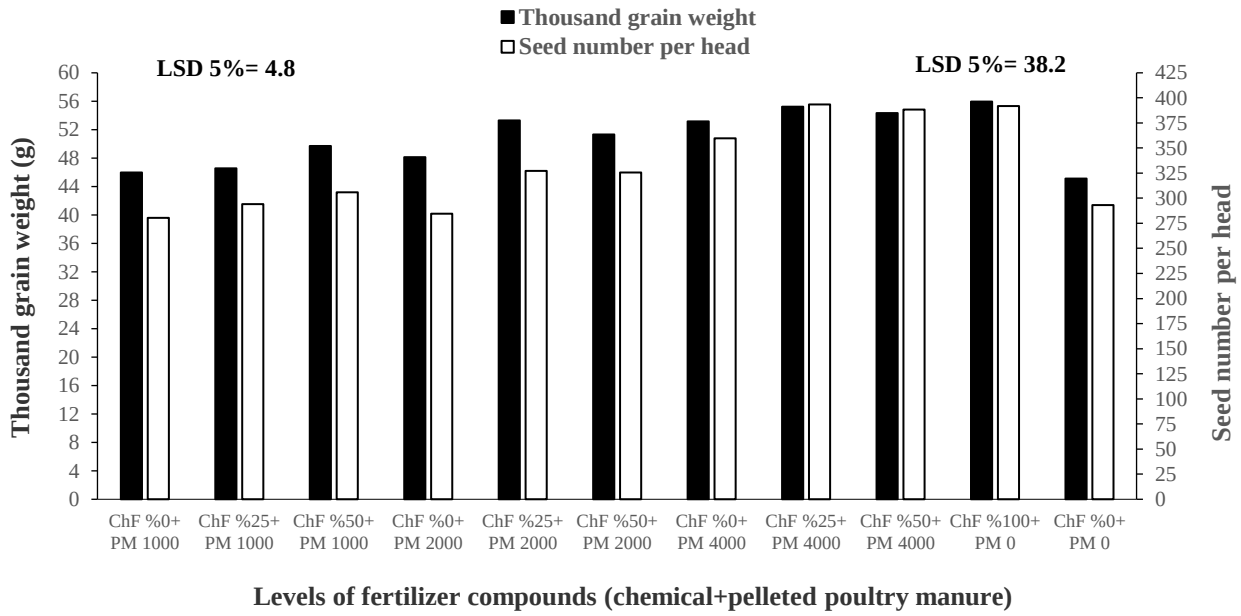
تعداد دانه در طبق

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که تعداد دانه در طبق آفتابگردان تحت تأثیر سطوح مختلف ترکیبات کودی قرار گرفت ($p<0.01$). بیشترین تعداد دانه در طبق (۳۹۳/۳ دانه) به تیمار کاربرد ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی مربوط بود که با تیمارهای بدون کود مرغی+ ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (۳۹۱/۷ دانه در طبق)، ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰٪ کود شیمیایی (۳۸۸/۳ دانه در طبق) و ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + صفر درصد کود شیمیایی (۳۵۹/۶ دانه در طبق) اختلاف معنی‌داری نداشت، امّا اختلاف آن با شاهد (بدون کود مرغی و شیمیایی)، معنی‌دار بود. شاهد دارای کمترین دانه در طبق (۲۹۳ دانه در طبق) بود. همچنین تیمار ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی بدون کود شیمیایی با تیمارهای ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی (۳۲۷/۳ دانه در طبق) و ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (۳۲۵/۶ دانه در طبق)

اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۳). استفاده تلفیقی از کودهای آلی و شیمیایی در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی به‌تنهایی، سبب افزایش ماده آلی و فعالیت ریزجانداران در خاک می‌شود و دسترسی گیاه به پتاسیم و فسفر را نیز افزایش می‌دهد و به تبع آن به افزایش رشد و عملکرد گیاه منجر می‌شود (Khan *et al*., 2018). از طرف دیگر، با توجه به اینکه آزاد شدن عناصر غذایی موجود در کودهای آلی تدریجی است، بدون مصرف کود شیمیایی تعداد دانه به‌طور جزئی افزایش پیدا می‌کند، درحالی که با افزودن کودهای شیمیایی هم تجزیه مواد آلی سریع‌تر صورت خواهد گرفت و هم به‌عنوان منبعی از عناصر غذایی، در اختیار گیاه قرار می‌گیرند (Qaswar *et al*., 2020). مجیری و ارزانی (Mojiri & Arzani, 2003) طی آزمایشی بیان داشتند که مصرف کود نیتروژن در آفتابگردان سبب افزایش طول دوره رشد (تعداد روز تا رسیدگی) و قطر طبق گردید، در نهایت، کود نیتروژن از طریق افزایش تعداد دانه در طبق، عملکرد آفتابگردان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به نظر می‌رسد، با توجه به این که تیمارهای ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی، بدون کود مرغی و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی از مقدار نیتروژن بیشتری بر خوردار بودند و به دلیل اثر مثبت نیتروژن بر تشکیل گل‌ها و گرده‌افشانی آن‌ها تعداد گل‌های میله‌ای افزایش می‌یابد که با تلقیح بهتر این گل‌ها، تعداد دانه در طبق نیز به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Wabekwa *et al*., 2014). علاوه‌براین، افزایش تعداد دانه در طبق در سیستم تغذیه‌ای آلی ممکن است اثر عنصر فسفر مربوط باشد که نقش مهمی در زمان پر شدن دانه و افزایش وزن دانه دارد و افزایش دسترسی به فسفر از ویژگی‌های مثبت کود آلی است، که ممکن است در سیستم‌های آلی و تلفیقی بر تعداد دانه در طبق اثر مثبت گذاشته باشد (Eghball *et al*., 2004).

وزن هزار دانه آفتابگردان

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) وزن هزار دانه آفتابگردان تحت تأثیر سطوح مختلف ترکیبات کودی قرار گرفت ($P<0.01$). مقایسه‌ی میانگین‌ها نشان داد که تیمار بدون کود مرغی + ۱۰۰ درصد کود شیمیایی دارای بیشترین وزن هزار دانه (۵۵/۹۳ گرم) بود که با تیمارهای ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی (۵۵/۲۳ گرم)، ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (۵۴/۳۳ گرم)، ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی (۵۳/۲۸ گرم)، ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی بدون کود شیمیایی (۵۳/۱۶ گرم) و ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (۵۱/۳ گرم) اختلاف معنی‌داری نداشت، ولی اختلاف آن با تیمار شاهد (بدون کود مرغی و شیمیایی) معنی‌دار بود (شکل ۳). در سیستم‌های کشاورزی فشرده استفاده از کودهای آلی به‌صورت ترکیبی با مقادیر بهینه از کود شیمیایی باعث افزایش گردش عناصر غذایی در سامانه‌های گیاهی خاک می‌شود (Farhad *et al*., 2019). فلاح و همکاران (Fallah *et al*., 2007) در مطالعه‌ای به‌منظور مقایسه سیستم‌های تغذیه تلفیقی با سیستم‌های تغذیه شیمیایی افزایش وزن هزار دانه آفتابگردان را به رهاسازی بیشتر عناصر غذایی در مرحله پرشدن دانه‌ها در تیمار تلفیقی کود مرغی و کود شیمیایی نسبت دادند. میرزاشاهی و کیانی (Mirzashahi & Kiani, 2008) گزارش کردند که مصرف تلفیقی کود دامی و شیمیایی موجب افزایش وزن هزار دانه می‌شود. لیو و همکاران (Liu *et al*., 2010) و اکبری و همکاران (Akbari *et al*., 2011) در آزمایش‌هایی جداگانه، بیشترین وزن هزار دانه در گیاه آفتابگردان را در نتیجه کاربرد تیمارهای تلفیقی کود دامی و شیمیایی (کود گاوی + کود اوره) گزارش کردند. در مطالعه‌ای دیگر، وزن هزاردانه در گیاه سیاهدانه تحت تیمارهای کود دامی و شیمیایی به‌میزان ۱۱/۲۶ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (Salehi *et al*., 2014). کود مرغی به‌دلیل برخورداری از مقدار بالای نیتروژن به عنوان یکی از مطلوب‌ترین کودهای آلی شناخته شده است (Sloan *et al*., 2006). به نظر می‌رسد با مصرف کود مرغی قابلیت دسترسی به نیتروژن معدنی و فسفر افزایش پیدا می‌کند که به نوبه خود منجر به تسریع در رشد و رسیدگی در طی مرحله رویشی گیاه شده، و در نهایت، باعث افزایش فتوسنتز و تکمیل شدن دوره زایشی می‌شود و به‌دلیل تداوم فرآیند معدنی شدن، جذب تا مدت طولانی‌تری ادامه پیدا می‌کند، به‌طوری‌که این شرایط موجب بیشتر شدن تعداد دانه در طبق و به‌ویژه افزایش معنی‌دار وزن هزاردانه شده و در نتیجه، عملکرد دانه افزایش پیدا می‌کند (Javanmard & Shekari, 2016). علاوه‌براین گزارش‌ها حاکی از این است که در شرایط تلفیق کودهای آلی و شیمیایی جذب عناصر غذایی حدود دو برابر افزایش می‌یابد (Pouraziz et al., 2013).



شکل ۳- مقایسه میانگین تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه آفتابگردان متأثر از سطوح مختلف ترکیبات کودی (شیمیایی+ مرغی پلیت شده)

Fig. 3- Mean comparison of seed number per head and 1000 seed weight of sunflower affected by different fertilizer compounds (chemical + pelleted poultry manure)

ChF: بیانگر مقدار مصرف کود شیمیایی به درصد و PM: بیانگر مقدار کاربرد کود مرغی پلیت شده به کیلوگرم می‌باشد

ChF: indicates the amount of chemical fertilizer application in percentage, and PM: indicates the amount of application of poultry manure in kilograms

عملکرد بیولوژیک آفتابگردان

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) حاکی از آن بود که عملکرد بیولوژیک آفتابگردان تحت تأثیر سطوح مختلف ترکیبات کودی قرار گرفت ($p<0.01$). بیشترین عملکرد بیولوژیک آفتابگردان (۴۰۵۹/۶ کیلوگرم در هکتار) به تیمار بدون کود مرغی + ۱۰۰ درصد کود شیمیایی تعلق داشت که با تیمارهای ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی (۴۰۲۲/۹ کیلوگرم در هکتار)، ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کودشیمیایی (۳۹۲۷/۵ کیلوگرم در هکتار)، ۲۰۰۰ کیلوگرم کود شیمیایی + ۲۵ درصد کود شیمیایی (۳۶۴۰/۸ کیلوگرم در هکتار)، ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (۳۶۳۸/۸ کیلوگرم در هکتار) و ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی بدون کود شیمیایی (۳۶۰۴/۴ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی داری نداشت، امّا با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. گیاهان تحت شاهد با عملکرد بیولوژیک ۲۸۴۱/۵ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد بیولوژیک را دارا بودند (شکل ۴). بیشتر بودن عملکرد بیولوژیک در تیمارهای بدون کود مرغی + ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی را می‌توان به بیشتر بودن اجزای عملکرد این تیمارها نسبت داد (شکل‌های ۲ و ۳). مدیریت تلفیقی کود که می‌تواند عملکردی برابر با کاربرد کودهای شیمیایی تولید کند، نویدبخش امکان برآورده کردن تقاضای فزاینده کود در کشاورزی مدرن است و می‌تواند به حفظ پایداری تولید بدون به خطر افتادن سلامت خاک و کیفیت محصول کمک کند. کاربرد تلفیقی مواد آلی همراه با کودهای معدنی می‌تواند منجر به حفظ و بهبود پارامترهای شیمیایی، میکروبی و فیزیکی خاک و افزایش عملکرد آفتابگردان منجر شود (Mukherjee *et al.*, 2019). نتایج آزمایشی نشان داد که عملکرد بیولوژیک آفتابگردان به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مصرف کودهای شیمیایی و آلی قرار می‌گیرد و مصرف کودهای شیمیایی و آلی هر دو سبب افزایش عملکرد بیولوژیک این گیاه زراعی می‌شوند (Javanmard & Shekari, 2016). به‌طوری‌که با مصرف ۱۵ تن در هکتار کود مرغی + ۲۰ تن در هکتار کود گاوی عملکرد بیولوژیک آفتابگردان ۲۲/۹ درصد نسبت به عدم استفاده از کودهای آلی افزایش نشان داد. فتحی و همکاران (Fathi *et al.*,

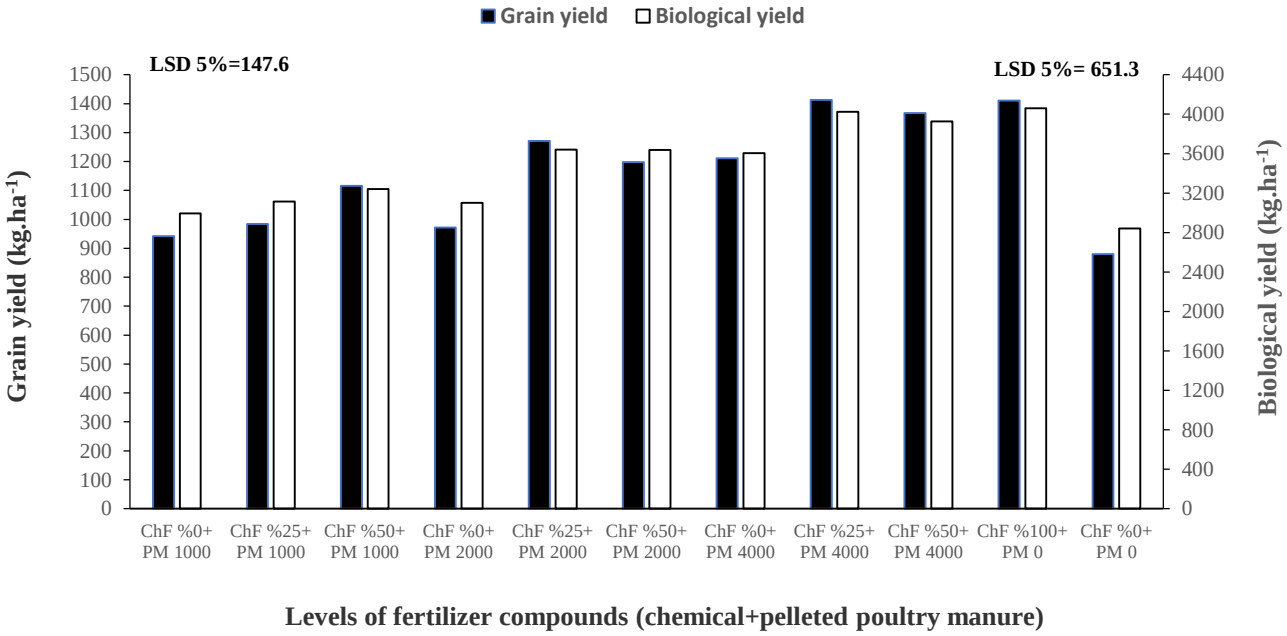
2002) با انجام مطالعه‌ای، افزایش عملکرد بیولوژیک بر اثر مصرف کود شیمیایی را به افزایش پوشش سبزگیاهی، دریافت نور بیشتر، شادابی برگ‌ها، افزایش فتوسنتز، ارتفاع و رشد فعال برگ‌ها نسبت دادند، این محققین گزارش کردند که در تغذیه آلی گیاه، عملکرد بیولوژیک به‌واسطه افزایش اجزای رویشی (سطح برگ و ارتفاع) و زایشی (وزن طبق، تعداد دانه و وزن هزار دانه) در مقایسه با عدم مصرف کود آلی افزایش پیدا می‌کند. جذب عناصر غذایی بیشتر توسط گیاه رشد و نمو و فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه را افزایش می‌دهد و این امر موجب افزایش عملکرد بیولوژیک می‌شود (Akbari *et al.*, 2009). نتایج آزمایش انجام گرفته روی گیاه جو نشان داد که مصرف کود مرغی و اسبی به‌میزان ۲۰ تن در هکتار باعث افزایش ارتفاع گیاه و ماده خشک این گیاه زراعی می‌شود (Ofosu-Anim & Leitch, 2009). احمد و جابین (Ahmad & Jabeen, 2009) طی پژوهشی گزارش کردند که مصرف کود آلی ورمی کمپوست باعث افزایش ارتفاع گیاه، قطر ساقه و عملکرد بیولوژیک در آفتابگردان می‌شود. این محققین افزایش عملکرد بیولوژیک آفتابگردان را به‌دلیل بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و تهویه و زهکشی مناسب نسبت دادند که رشد ریشه‌ها را افزایش داده و سبب افزایش جذب عناصر غذایی می‌گردد. در پژوهشی دیگر، بررسی تأثیر انواع کودهای آلی و شیمیایی (کود گاوی، کود گوسفندی، کود مرغی، ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی و شاهد) بر شاخص رشدی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) نشان داد که استفاده از کودهای آلی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نسبت به تیمارهای شاهد و کود شیمیایی می‌شود (Mirarab *et al.*, 2016).

عملکرد دانه آفتابگردان

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که عملکرد دانه آفتابگردان تحت تأثیر سطوح مختلف ترکیبات کودی قرار گرفت ($p\leq0.01$). مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که گیاهان تحت تیمار کاربرد ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی از بیشترین عملکرد دانه (۱۴۱۳ کیلوگرم در هکتار) برخوردار بودند که با تیمارهای بدون کود مرغی + ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (۱۴۱۱/۲ کیلوگرم در هکتار) و ۴۰۰۰ کیوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (۱۳۶۷/۰۷ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت و نسبت به شاهد (۸۸۰ کیلوگرم در هکتار) به‌میزان ۶۰/۵۷ درصد عملکرد دانه را افزایش داد (شکل ۴). عملکرد دانه متأثر از اجزای عملکرد (تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه) می‌باشد. در مطالعه حاضر، تیمارهای ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی (۳۹۳/۳ دانه در طبق)، بدون کود مرغی+ ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (۳۹۱/۷ دانه در طبق)، ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (۳۸۸/۳ دانه در طبق) و ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۰٪ کود شیمیایی (۳۵۹/۶ دانه در طبق) دارای بیشترین تعداد دانه در طبق بودند (شکل ۳). تیمارهای بدون کود مرغی + ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (۵۵/۹۳ گرم)، ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی (۵۵/۲۳ گرم)، ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (۵۴/۳۳ گرم)، ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی (۵۳/۲۸ گرم)، ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی بدون کود شیمیایی (۵۳/۱۶ گرم) و ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (۵۱/۳ گرم) دارای درشت‌ترین دانه (بیشترین وزن هزار دانه) بودند (شکل ۴). بنابراین، می‌توان انتظار داشت، تیمارهایی که دارای تعداد دانه بیشتر در طبق و وزن هزار دانه بالاتری باشند، به تبع آن از عملکرد دانه بالاتری برخوردار باشند، که این امر در مطالعه حاضر مشاهده گردید و تیمارهای ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی، بدون کود مرغی + ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و ۴۰۰۰ کیوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی به‌دلیل داشتن اجزای عملکرد بالاتر نسبت به سایر تیمارهای مورد مطالعه در این آزمایش، دارای بالاترین عملکرد دانه بودند. در بین تیمارهای کودی، در اکثر صفات مورد مطالعه تیمارهای کود آلی (کود دامی و کود مرغی توصیه شده) و همچنین تیمار تغذیه تلفیقی کود آلی و شیمیایی (نصف کود شیمیایی توصیه شده + نصف کود گاوی توصیه شده) دارای بیشترین تأثیر بوده و از طریق بهبود اجزای عملکرد و صفات زراعی آفتابگردان، عملکرد دانه را نسبت به سایر تیمارها افزایش دادند (Esmaeilian *et al.*, 2014). محصول دانه آفتابگردان همبستگی تنگاتنگی با تعداد گل های تلقیح شده دارد، هر چه تعداد گل‌های طبق بیشتر، طبق بزرگ‌تر (شکل ۲) و هر چه تلقیح موفقیت آمیزتر، تعداد دانه در طبق بیشتر (شکل ۳) باشد، به‌همان اندازه عملکرد دانه (شکل ۴)، نیز بیشتر خواهد شد.

بالا بودن عملکرد دانه در تیمار کود مرغی می‌تواند به‌دلیل فراهمی بیشتر نیتروژن تا انتهای

فصل رشد و رهاسازی تدریجی و تطابق آن با نیازهای گیاه باشد (Gholamhoseini *et al.*, 2013). مصرف کودهای آلی علاوه‌بر فراهم کردن عناصر غذایی برای گیاه، باعث دسترسی بهتر گیاه به آب در طول فصل رشد می‌شود (Hendawy, 2008). به نظر می‌رسد که مصرف کودهای آلی به‌دلیل بالا بودن میزان کربن آلی و کاهش وزن مخصوص ظاهری و افزایش تخلخل و بهبود وضعیت تهویه خاک، باعث افزایش رشد ریشه‌ها می‌شود و در اثر تسهیل در جذب مواد غذایی و آب، رشد و نمو و عملکرد گیاه افزایش پیدا می‌کند (Mengistu *et al.*, 2017). مصرف توأم کودهای آلی و شیمیایی و زیستی می‌تواند باعث بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک شده و افزایش کربن آلی و عناصر غذایی را به دنبال داشته باشد (Khavazi *et al.*, 2014). احمدی و همکاران (Ahmadi *et al.*, 2013) نیز در بررسی تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و تلفیقی بر عملکرد آفتابگردان مشاهده کردند که عملکرد دانه آفتابگردان در تیمارهای تلفیقی بیشتر از تیمار کودهای شیمیایی است.



شکل ٤- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک و دانه آفتابگردان متأثر از سطوح مختلف ترکیبات کودی (شیمیایی + مرغی پلیت شده)

Fig. 4- Mean comparison of biological and grain yield of sunflower affected by different fertilizer compounds (chemical + pelleted poultry manure)

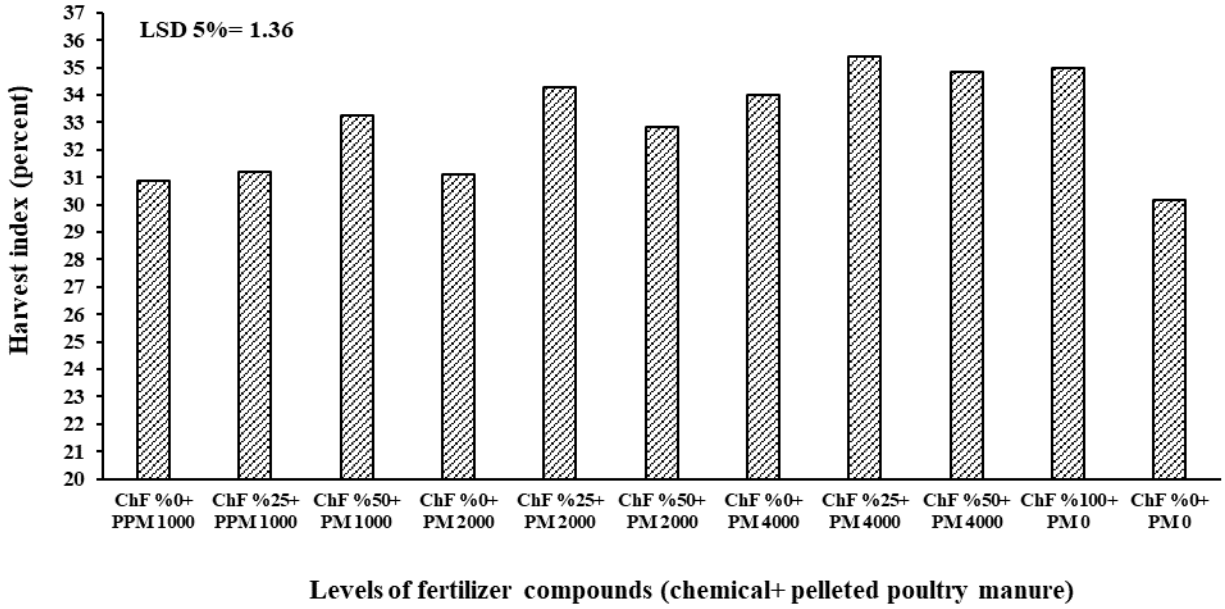
ChF: بیانگر مقدار مصرف کود شیمیایی به درصد و PM: بیانگر مقدار کاربرد کود مرغی پلیت شده به کیلوگرم می‌باشد.

ChF: indicates the amount of chemical fertilizer application in percentage, and PM: indicates the amount of application of poultry manure in kilograms.

شاخص برداشت آفتابگردان

شاخص برداشت نشان‌دهنده میزان مواد انتقال یافته و ذخیره شده در دانه نسبت به کل مواد تولید شده در دوره‌های رویشی و زایشی گیاه است و به‌عنوان یک صفت مهم در ارزیابی تولید گیاهان زراعی به‌شمار می‌رود (Kemanian *et al.*, 2007). بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴)، شاخص برداشت آفتابگردان تحت تأثیر سطوح مختلف ترکیبات کودی قرار گرفت ($p\leq0.01$). تیمار ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی از بیشترین شاخص برداشت (۳۵/۴۲ درصد) برخوردار بود و با تیمارهای بدون کود مرغی + ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (۳۴/۹۹ درصد) و ۴۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (۳۴/۸۶ درصد) اختلاف معنی‌داری نداشت، ولی اختلاف آن با تیمارهای ۱۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵

درصد کود شیمیایی (۳۱/۱۹ درصد)، ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی بدون کود شیمیایی (۳۱/۱۲ درصد)، ۱۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی بدون کود شیمیایی (۳۰/۸۷ درصد) و همچنین شاهد (۳۰/۱۸ درصد) معنی‌دار بود (شکل ۵). به نظر می‌رسد، کاربرد کودهای شیمیایی و آلی از طریق تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه سبب افزایش شاخص برداشت آفتابگردان نسبت به شاهد شده است. نتایج آزمایشی حاکی از آن بود که کاربرد ترکیبی کودهای آلی و شیمیایی با بهبود اجزای عملکرد دانه سبب بهبود شاخص برداشت می‌شود (Esmaeilian *et al.*, 2014). در مطالعه‌ای دیگر، جوانمرد و شکاری (Javanmard & Shekari, 2016) گزارش کردند که تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد فسفر با متوسط ۳۵/۵۵ درصد از بیشترین مقدار شاخص برداشت و شاهد با متوسط ۲۹/۱۹ درصد از کمترین مقدار شاخص برداشت برخوردار بودند و در بین کودهای آلی نیز تیمار ۵۰ درصد کود گاوی + ۵۰ درصد کود مرغی با متوسط شاخص برداشت ۳۴/۴۷ درصد بیشترین مقدار و شاهد با متوسط ۲۹/۷۲ درصد کمترین مقدار شاخص برداشت را داشتند. میرلوحی و همکاران (Mirlouhi *et al.*, 2008) نیز در یک بررسی چند ساله در مورد اثر تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد گیاه زراعی جو گزارش نمودند که مصرف کودهای آلی سبب افزایش شاخص برداشت و عملکرد گیاه جو می‌شود.



شکل ۵- مقایسه میانگین شاخص برداشت آفتابگردان متأثر از سطوح مختلف ترکیبات کودی (شیمیایی+ مرغی پلیت شده)

Fig. 5- Mean comparison of harvest index of sunflower affected by different fertilizer compounds (chemical + pelleted poultry manure)

ChF: بیانگر مقدار مصرف کود شیمیایی به درصد و PM: بیانگر مقدار کاربرد کود مرغی پلیت شده به کیلوگرم می‌باشد.

ChF indicates the amount of chemical fertilizer application in percentage and PM indicates the amount of application of poultry manure in kilograms.

درصد پروتئین دانه آفتابگردان

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) حاکی از آن بود که درصد پروتئین دانه آفتابگردان تحت تأثیر سطوح مختلف ترکیبات کودی قرار گرفت ($P\leq0.01$). تیمار کاربرد ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی از بیشترین درصد پروتئین دانه (۲۱/۷ درصد) برخوردار بود و به‌جز شاهد (۱۷/۹۸ درصد) با هیچ کدام از سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۶). در مطالعه حاضر، مصرف کودهای آلی همراه با کود شیمیایی سبب شد مقدار پروتئین بیشتری در دانه‌ها تجمع یابد. در این راستا عنوان شده است که با کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی قابلیت دسترسی گیاه به نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن افزایش پیدا می‌کند و به تبع آن سنتز اسیدهای آمینه و پروتئین نیز افزایش می‌یابد (Dotaniya *et al.*, 2019). اسماعیلیان و همکاران (Esmaeilian *et al.*, 2014) گزارش نمودند که کاربرد ترکیبی کودهای آلی و شیمیایی کیفیت دانه

آفتابگردان را بهبود بخشید، به‌گونه‌ای که عملکرد پروتئین دانه آفتابگردان در تیمار مصرف کود مرغی (به میزان توصیه شده) نسبت به دیگر تیمارها بیشتر بود و کمترین میزان عملکرد پروتئین نیز در تیمار شاهد (عدم مصرف کود) مشاهده شد، به‌طوری‌که مصرف کود مرغی سبب افزایش ۴۹/۱ درصدی عملکرد پروتئین نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین زمیل و همکاران (Zamil *et al*., 2004) با بررسی اثر انواع مختلف کود دامی و کود شیمیایی بر غلظت پروتئین دانه گیاه خردل (*Brassica campestris* L.) گزارش کردند که کود مرغی نسبت به دیگر تیمارها پروتئین دانه را به‌میزان بیشتری افزایش داد.

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مرتبط با کیفیت دانه آفتابگردان متأثر از کاربرد سطوح مختلف کود مرغی و شیمیایی

Table 5- Analysis of variance (mean of squares) of traits related to sunflower seed quality affected by the application of different levels of poultry manure and chemical

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares			
		درصد پروتئین Protein percentage	درصد روغن Oil percentage	فسفر دانه Grain phosphorus	پتاسیم دانه Grain potassium
تکرار Replication	2	10.68*	65.2*	0.038ns	0.42*
تیمارهای کودی Fertilizer treatments	10	9.82*	59.1*	0.61**	0.46**
خطا Error	20	2.87	18.51	0.15	0.12
ضریب تغییرات CV (%)		8.3	11.6	5	5.9

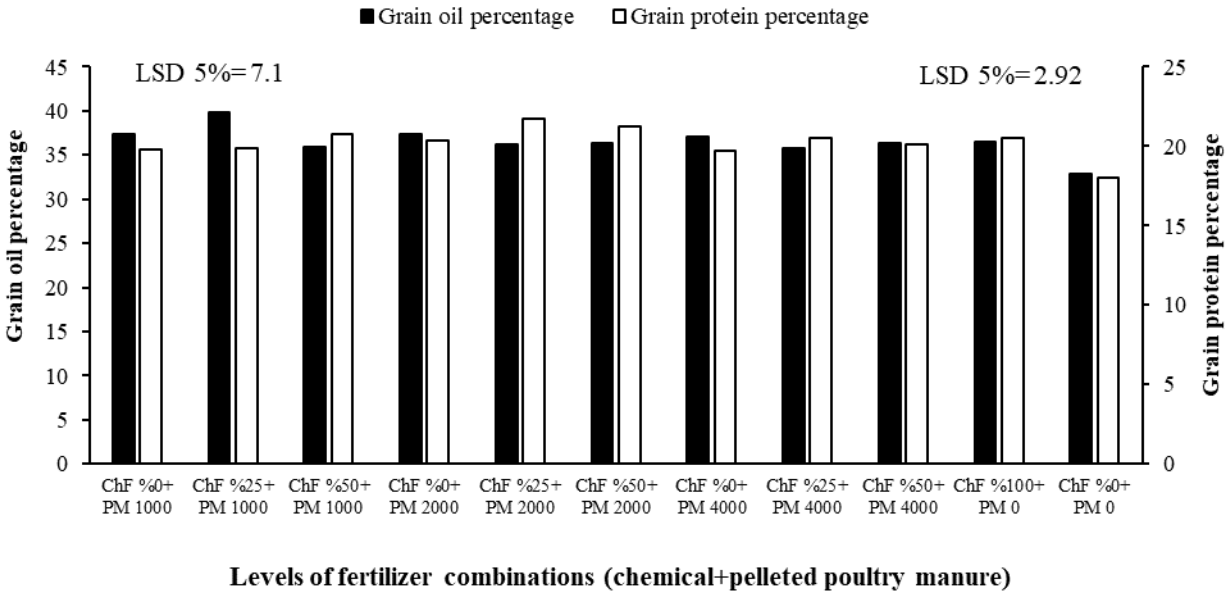
ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

Ns, *, and **: means non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

درصد روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) نشان داد که درصد روغن دانه آفتابگردان تحت تأثیر سطوح مختلف ترکیبات کودی قرار می‌گیرد ($p\leq0.01$). تیمار کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی (۳۹/۹۱ درصد) از بالاترین درصد روغن دانه برخوردار بود، ولی با سایر تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری نداشت و تنها با شاهد (۳۲/۹۱ درصد) دارای اختلاف معنی‌دار بود (شکل ۶). تیمار ۱۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی که درصد پروتئین نسبتاً پایین‌تری در قیاس با سایر تیمارها داشت، دارای درصد روغن بالاتری در مقایسه با سایر تیمارها بود، هر چند که تفاوت معنی‌داری میان تیمارها مشاهده نگردید (به‌جز شاهد). در این ارتباط نتایج پژوهشی نشان داد، درصد روغن دانه و عملکرد روغن تحت تأثیر معنی‌دار کود شیمیایی، کود آلی و برهم‌کنش کودهای شیمیایی و آلی قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که بیشترین درصد روغن به تیمار مصرف ۵۰ درصد کود گاوی + ۵۰ درصد کود مرغی مربوط بود و کمترین میزان درصد روغن در شاهد (بدون مصرف کود شیمیایی و آلی) مشاهده شد (Javanmard & Shekari, 2016). مصرف بیش از اندازه کودهای شیمیایی در زراعت آفتابگردان نه تنها آسیب‌های وارده به محیط زیست را افزایش می‌دهد، بلکه بر کیفیت دانه‌ها تأثیر منفی خواهد داشت و سبب کاهش میزان روغن دانه می‌شود (Azeez *et al*., 2010). با مصرف کود شیمیایی حاوی نیتروژن زیاد، کربوهیدرات در دسترس جهت سنتز اسیدهای چرب و آمینواسیدها به‌ترتیب کاهش و افزایش پیدا می‌کند، در نتیجه سنتز روغن کاهش، ولی سنتز پروتئین افزایش می‌یابد (Rathke *et al*., 2005). دلیل فیزیولوژیکی همبستگی منفی بین سنتز روغن و پروتئین به رقابت برای کربن در طی متابولیسم کربوهیدرات‌ها مربوط می‌شود، زیرا میزان کربوهیدرات مورد نیاز جهت سنتز پروتئین کمتر از سنتز روغن است (Bhatia & Rabson, 1976). بنابراین، مصرف کود شیمیایی حاوی نیتروژن زیاد، سنتز پروتئین را نسبت به سنتز اسیدهای چرب افزایش می‌دهد در حالی که مصرف کودهای دامی که درصد نیتروژن پایین‌تری دارند و نیتروژن آن‌ها به‌تدریج آزاد می‌شود، می‌تواند درصد روغن را افزایش دهد (Mohammadi *et al*., 2013). محمدی و همکاران

(Mohammadi *et al.*, 2013) طی مطالعه‌ای نتیجه گرفتند، افزایش عملکرد روغن در تیمار کود گاوی + کمپوست + کود شیمیایی (۹۹۷/۸ کیلوگرم در هکتار) نسبت به شاهد (۲۱۱/۶ کیلوگرم در هکتار)، برابر با ۳۷۱/۵۵ درصد بود. نتایج پژوهش دیگری نیز نشان داد که بیشترین عملکرد روغن دانه آفتابگردان در تیمار مصرف ۱۵ تن در هکتار کود گاوی + نصف کود شیمیایی توصیه شده (۱۱۰، ۷۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم) حاصل می‌شود. همچنین در آزمایشی دیگر، هائو و همکاران (Hao *et al.*, 2004) با کاربرد درازمدت کود دامی، افزایش درصد روغن دانه را مشاهده کردند.



شکل ٦- مقایسه میانگین درصد روغن و پروتئین دانه آفتابگردان متأثر از سطوح مختلف ترکیبات کودی (شیمیایی + مرغی پلیت شده)

Fig. 6- Mean comparison of grain oil and protein percentage of sunflower affected by different fertilizer compounds (chemical + pelleted poultry manure)

ChF: بیانگر مقدار مصرف کود شیمیایی به درصد و PM: بیانگر مقدار کاربرد کود مرغی پلیت شده به کیلوگرم می‌باشد.

ChF: indicates the amount of chemical fertilizer application in percentage, and PM: indicates the amount of application of poultry manure in kilograms.

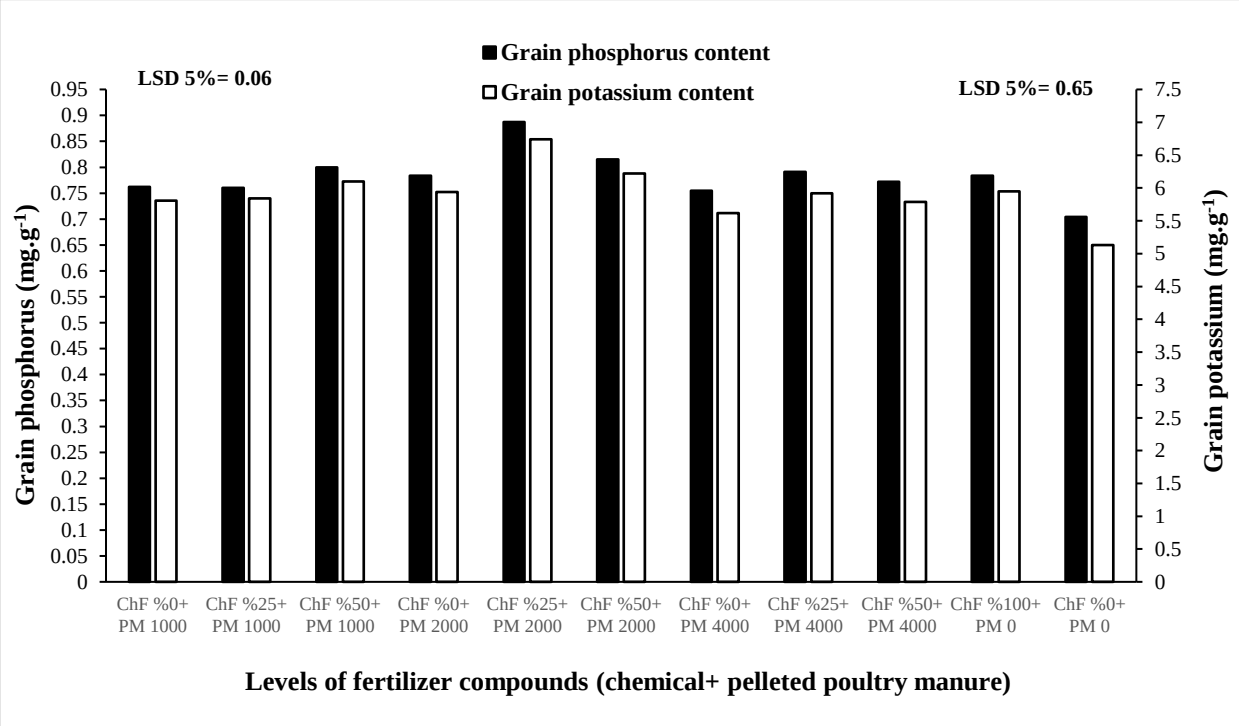
میزان فسفر دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) نشان داد که میزان فسفر دانه آفتابگردان تحت تأثیر سطوح مختلف ترکیبات کودی قرار گرفت ($p\leq0.01$). آفتابگردان‌های تحت تیمار کاربرد ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی (۰/۸۸۷ میلی‌گرم بر گرم) بالاترین میزان فسفر دانه را دارا بود و با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت و سایر تیمارها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (شکل ۷). پایین‌ترین میزان فسفر دانه در شاهد مشاهده شد که دارای ۰/۷۰۴ میلی‌گرم بر گرم فسفر در دانه بود و تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارهای کودی داشت. به‌نظر می‌رسد، در تیمارهای کود ترکیبی در دسترس بودن فسفر بیشتر در خاک سبب افزایش محتوای فسفر دانه گردیده است (Eghball *et al.*, 2004). استفاده تلفیقی از کودهای آلی و معدنی از بسیاری جهات با ارزش است، زیرا تأمین عناصر غذایی را حفظ می‌کند، کربن آلی را برای ریزجانداران خاک فراهم می نماید و از طریق تولید اسیدهای آلی به رهاسازی عناصر غذایی تثبیت شده در خاک کمک می‌کند (Sharma *et al.*, 2013). در همین ارتباط، نتایج آزمایشی نشان داد که مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی و دامی علاوه‌بر افزایش عملکرد آفتابگردان، کارآیی جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم را افزایش می‌دهد (Wabekwa *et al.*, 2014).

میزان پتاسیم دانه

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵)، میزان پتاسیم

دانه آفتابگردان تحت تأثیر سطوح مختلف ترکیبات کودی قرار گرفت ($p<0.01$). گیاهان تحت تیمار کاربرد ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی (۶/۷۴ میلی‌گرم بر گرم) از بیشترین میزان پتاسیم دانه برخوردار بود که با گیاهان تحت تیمار کاربرد ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (۶/۲۲ میلی‌گرم بر گرم) اختلاف معنی‌داری نداشت و تیمار ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (۶/۲۲ میلی‌گرم بر گرم) با سایر تیمارها به‌جز شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت، شاهد (۵/۱۳ میلی‌گرم بر گرم) به طور معنی‌داری دارای کمترین میزان پتاسیم دانه بود (شکل ۷). به نظر می‌رسد، در تیمارهای تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی، در دسترس بودن و جذب بیشتر پتاسیم از خاک سبب افزایش پتاسیم دانه گردیده است. در طی فرآیند تجزیه کودهای آلی اسیدهایی که حلالیت فسفر و ظرفیت نگهداری پتاسیم را در خاک افزایش می‌دهند، تولید می‌شوند و به تبع آن، جذب این عناصر توسط گیاه زراعی و غلظت آن‌ها در دانه‌ها افزایش می‌یابد (Mohammadi *et al.*, 2010). بلایس و همکاران (Blaise *et al.*, 2005) نیز طی آزمایشی اعلام کردند، رهاسازی تدریجی عناصر غذایی موجود در کودهای آلی سبب افزایش مقدار پتاسیم و سایر عناصر در خاک می‌شود که به تبع آن، کارآیی جذب آن‌ها توسط گیاهان زراعی به‌طور مؤثری افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۷- مقایسه میانگین میزان فسفر و پتاسیم دانه آفتابگردان متأثر از سطوح مختلف ترکیبات کودی (شیمیایی+ مرغی پلیت شده)

Fig. 7- Mean comparison of grain phosphorus and potassium contents of sunflower affected by different fertilizer compounds (chemical + pelleted poultry manure)

ChF: بیانگر مقدار مصرف کود شیمیایی به درصد و PM: بیانگر مقدار کاربرد کود مرغی پلیت شده به کیلوگرم می‌باشد.

ChF: indicates the amount of chemical fertilizer application in percentage, and PM: indicates the amount of application of poultry manure in kilograms.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و کود مرغی پلیت شده سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه آفتابگردان (ازجمله تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه و کیفیت دانه) نسبت به شاهد گردید. شاخص برداشت نیز با کاربرد کودهای شیمیایی و مرغی پلیت شده در مقایسه با شرایط بدون مصرف کود افزایش یافت. بیشترین درصد روغن دانه به‌میزان ۳۹/۹۱ درصد با کاربرد همزمان ۲۵ درصد کود شیمیایی + ۱۰۰۰ کود مرغی حاصل گردید و بیشترین مقادیر

پروتئین (۲۱/۷ درصد)، فسفر (۰/۸۸۷ میلی‌گرم بر گرم) و پتاسیم (۶/۷۴ میلی‌گرم بر گرم) دانه از تیمار ترکیبی کاربرد ۲۵ درصد کود شیمیایی + ۲۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی حاصل شد. تیمار ترکیبی ۲۵ درصد کود نیتروژن + ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی، دارای بیشترین عملکرد دانه (۱۴۱۳ کیلوگرم در هکتار) در میان تیمارهای مورد مطالعه بود و در مجموع، با توجه به کاهش مقدار مصرف کود شیمیایی در آن، به‌عنوان بهترین تیمار کودی انتخاب گردید. از نتایج این تحقیق می‌توان چنین استنباط نمود که می‌توان با استفاده از تلفیق کودهای آلی و شیمیایی در زراعت آفتابگردان علاوه‌بر رسیدن به عملکردهای قابل قبول، کیفیت دانه‌ی آن را نیز افزایش داد و مصرف کودهای شیمیایی که آثار منفی آن‌ها بر محیط زیست و بوم نظام‌های زراعی به اثبات رسیده است را کاهش داد و در راستای رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار حرکت نمود.

References

1. Abumere, V.I., Dada, O.A., Ddebayo, A.G., Kutu, F.R & Togun, A.O., 2019. Different rates of chicken manure and NPK 15-15-15 enhanced performance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) on ferruginous soil. *International Journal of Agronomy*, *1*-10. DOI: 10.1155/2019/3580562
2. Ahmad, R., & Jabeen, N., (2009). Demonstration of growth improvement in sunflower (*Hellianthus annuus* L.) by the use of organic fertilizers under saline conditions. *Pakistan Journal of Botany*, *41*(3), 1373-1384.
3. Ahmadi, S., Hasanzade-Ghort-Tape, A., & Aghaie-Okhchelar, R., (2013). Application of different amount of cattle manure on some qualitative and quantitative characteristics of sunflower hybrids in Urmia region. *Journal of Crop Production and Processing*, *2*(6),1-9. (In Persian with English Summary).
4. Akbari, P., Ghalavand, A., & Modarres, S.A.M., (2009). Effects of different nutrition systems (organic, chemical and integrated) and biofertilizer on yield and other growth traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *19*(1), 83-93. (In Persian)
5. Alley, M.M., & Vanlauwe, B., (2009). The role of fertilizers in integrated plant nutrient management. Tropical Soil Biology and Fertility Institute of the International Centre for Tropical Agriculture Paris 54 p.
6. Anediran, J.A., Taiwo, L.B., Akande, M.O., Sobulo, R.A., & Idowu, O.J., (2005). Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. *Journal of Plant Nutrition*, *27*, 1163-1181. DOI: https://doi.org/10.1081/PLN-120038542
7. AOAC. (2005). Official Method of Analysis. 18th Edition, Association of Officiating Analytical Chemists, Washington DC, Method 935.14 and 992.24.
8. Azeez, J.O., Van Averbeke, V., & Okorogbona, A.O.M., (2010). Differential responses in yield of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) and nightshade (*Solanum retroflexum* Dun.) to the application of three animal manures. *Bioresource Technology*, *101*, 2499–2505. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.10.095
9. Bhatia, C.R., & Rabson, R. (1976). Bioenergetic considerations in cereal breeding for protein improvement. Science, 194, 1418–1421. DOI: 10.1126/science.194.4272.1418
10. Blaise, D., Singh, J.V., Bonde, A.N., Tekale, K.U., & Mayee, C.D., (2005). Effects of farmyard manure and fertilizers on yield, fiber quality and nutrient balance of rain fed cotton (*Gossypium hirsutum*). *Bioresource Technology*, *96*, 345-349. DOI:10.1016/j.biortech.2004.03.008
11. Deksissa, T., Short, I., & Allen, J., (2008). Effect of soil amendment with compost on growth and water use efficiency of Amaranth. In Proceedings of the UCOWR/NIWR Annual Conference: International Water Resources: Challenges for the 21st Century and Water Resources Education, July 22–24, Durham, NC.
12. Diacono, M., & Montemurro, F., (2010). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *30*, 401-422 DOI:10.1051/agro/2009040
13. Dotaniya, C.K., Niranjan, R.K., Kumar, U., Lata, M., Regar, K.L., Doutaniya, R.K., Mohbe, S., & Jadon, P., (2019). Quality, yield and nutrient uptake of fenugreek as influenced by integrated nutrient management. *International Journal of Plant and Soil Science*, *29*(3), 1–7. DOI: 10.9734/ijpss/2019/v29i330142
14. Eghbal, B., Ginting, D., & Gilly, J.E., (2004). Residual effects of manure and compost application on corn production and soil properties. *Agronomy Journal*, *96*, 442-447. DOI:10.2134/agronj2004.4420
15. Esmaeilian, Y., Galavi, M., Amiri, E., & Heidari, M., (2014). Effect of organic and chemical fertilizers on yield, yield components and seed quality of sunflower under drought stress conditions. *Journal of Soil and Water Science*, *24*(3), 175-189. (In Persian with English Summary).

16. Fallah, S., A. Ghalavand, & Khajehpour Mohammad M.R., 2007. Effects of animal manure incorporation methods and its integration with chemical fertilizer on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) in Khorramabad, Lorestan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 11 (40), 233-242*
17. Farhad, I.S.M., Jahan, E., Anik, M.F.A., Chowdhury M.M.U., & Akhter, S., (2019). Integrated nutrient management for sunflower in coastal char land of Bangladesh. *Bangladesh Agronomy Journal, 22*(2), 151-159. DOI:10.3329/baj.v22i2.47643
18. Fathi, G.H.A., Nabisaidi, E.K., Siadat, S.E.A., & Ebrahimpour Nourabadi, F., (2002). Effect of different levels of nitrogen and plant density on grain yield varieties kolza PF7045 climatic conditions in Khuzestan. *Scientific Journal of Agriculture*, *25*(1), 43-57.
19. Ghadamgahi, M., Madani, H., & Khaghani, S., (2013). Study of increasing possibility in confectionary sunflower yield by phosphorus solublizing bacteria and zinc application. *Journal of New Finding in Agricultural, 7*(3), 275-285. (In Persian).
20. Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H., & Farmanbar, E., (2013). Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil and Tillage Research*, *126*, 193–202. DOI:10.1016/j.still.2012.08.002
21. Hao, X., Chang, C., & Travis, G.J., (2004). Effect of long-term cattle manure application on relations between nitrogen and oil content in canola seed. *Journal of Plant Nutrition, 167*, 214–215. DOI:10.1002/jpln.200320355
22. Hendawy, S.F., 2008. Comparative study of organic and mineral fertilization on Plantago arenarria plant. *Journal of Applied Sciences Research, 4(5), 500-506.*
23. Javanmard, A., & Shekari, F., (2016). Improvement of seed yield, its components and oil content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) by applications of chemical and organic fertilizers. *Journal of Crop Ecophysiology*, *10*(1), 35-56. (In Persian with English Summary).
24. Kaya, M.D., Okcu, G., Atak, M., Cikili, Y & Kolsarici, O., (2006). Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, *24, 291–295*. DOI:10.1016/j.eja.2005.08.001
25. Kemanian, A.R., Stöckle, C.O., Huggins, D.R., & Viega, L.M., (2007). A simple method to estimate harvest index in grain crops. *Field Crops Research*, *103*(3), 208–216. DOI:10.1016/j.fcr.2007.06.007
26. Khajehpour, M.R., (2004). Industrial Crops. Isfahan, Isfahan University. pp. 278. (In Persian).
27. Khan, T.U., Jan, M.T., Khan, A., Ahmad, G., Ishaq, M., Afridi, K., Ali, M., Qureshi, M.A., Ahmad, I., & Saeed, M., (2018). Integrated management of fertilizer nitrogen and poultry manure enhance wheat production. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, *31*(3), 207-215. DOI: 10.17582/journal.pjar/2018/31.3.207.215
28. Khavazi, K., Balali, M.R., Bazargan, K., Tehrani, M.M., Rezaee, H., Asadi Rahmani, H., Gheibi M.N., Davoodi, M.H., Saadat, S., Moshiri, F., & Davatgar, N., (2014). Comprehensive Soil Fertility and Plant Nutrition Program 2014-2025. Soil and Water Research Institute Press. Karaj, Iran. 282 pp. (In Persian with English Summary).
29. Lawrence, J.R., Ketterings, Q.M., & Cherney, J.H., (2008). Effect of nitrogen application on yield and quality of silage corn after forage legume-grass. *Agronomy Journal, 100*, 73-79. DOI: 10.2134/agronj2007.0071
30. López-Valdez, F., Fernández-Luqueño, F., Luna-Suárez, S., & Dendooven, L., (2011). Greenhouse gas emissions and plant characteristics from soil cultivated with sunflower (*Helianthus annuus* L.) and amended with organic or inorganic fertilizers. *Science of the Total Environment, 412-413*, 257–264. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.09.064
31. Liu, E., Yan, C., Mei, X., He, W., Hwat Bing, S., Ding, L., Liu, Q., Liu, S., & Fan, T., (2010). Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. *Geoderma, 158*, 173–180. DOI: 10.1016/j.geoderma.2010.04.029
32. Lu, G., & Hoeft, E., (2007). *Sunflower*. In C. Kole and T.C. Hall (Eds.). A Compendium of Transgenic Crop Plants. Vol. 2, Oxford, Wiley Blackwell. 355 p.
33. Maeder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., & Niggli, U., (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science, 296*, 1694-1697. DOI: 10.1126/science.1071148
34. Mengistu, T., Gebrekidan, H., Kibret, K., Woldetsadik, K., Shimelis, B., & Yadav, H., (2017). The integrated use of excreta-based vermicompost and inorganic N P fertilizer on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit yield, quality and soil fertility. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, *6*(1), 63-77. DOI: 10.1007/s40093-017-0153-y
35. Mirarab, T., Piri, E., Tavassoli, A., & Babaeiyan, M., (2016). The effect organic fertilizer on quantitative and

qualitative characters of basil (*Ocimum basilicum*) in Sistan region. *Journal of Research on Crop Ecophysiology*, *2*(38), 327-338. (In Persian with English Summary).

36. Mirlouhi, A.F., Mohammadi, R., Razavi, S.J., & Nourbakhsh, F., (2008). Effects of different fertilizer applications during rice and corn cultivation on barley yield in a three years replication. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*, *18*(3), 161-171. (In Persian with English Summary).
37. Mirzashahi K. & Kiani S., (2008). Effects of sheep manure on amounts of chemical fertilizer consumption in corn. *Journal of Investigative in Agricultural Science*, *4*(20), 174-186. (In Persian with English Summary).
38. Mohammadi, K., Ghalavand, A., & Agha-Alikhani, M., (2010). Effect of organic matter and biofertilizers on chickpea quality and biological nitrogen fixation. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, *44*, 1154-1159.
39. Mohammadi, K., Heidari, G., Javaheri, M., Rokhzadi, A., Karimi Nezhad, M.T., Sohrabi, Y., & Talebi, R., (2013). Fertilization affects the agronomic traits of high oleic sunflower hybrid in different tillage systems. *Industrial Crops and Products*, *44*, 446–451. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.09.028
40. Mojiri, A. & Arzani, A., 2003. Effect of nitrogen rate and plant density on yield and yield components of sunflower. *Journal of Water and Soil Science*, *7* (2), 115-125. (In Persian)
41. Mokgolo, M.J., Mzezewa, J., & Odhiambo, J.J.O., (2019). Poultry and cattle manure effects on sunflower performance, grain yield and selected soil properties in Limpopo province, South Africa. *South African Journal of Science*, *115*(11/12), 7. DOI: 10.17159/sajs.2019/6410
42. Muhsin, S.J., Ramadhan, M.N., & Nassir, A.J., (2021). Effect of organic manure and tillage depths on sunflower (*Helianthus annuus* L.) production. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, *735*, 102070. DOI: 10.1088/1755-1315/735/1/012070
43. Mukherjee, A.K., Tripathi, S., Mukherjee, S., Mallick, R.B., & Banerjee, A., (2019). Effect of integrated nutrient management in sunflower (*Helianthus annuus* L.) on alluvial soil. *Current Science*, *117*(8), 1364-1368.
44. Munir, M.A., Malik, M.A., & Saleem, M.F., (2007). Impact of integration of crop manuring and nitrogen application on growth, yield and quality of spring planted sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Pakistan Journal of Botany*, *39*(2), 441-449.
45. Murru, M., & Calvo, C.L., (2020). Sunflower protein enrichment. Methods and potential applications. *Oilseeds and Fats, Crops and Lipids*, *27*, 1-14. DOI: 10.1051/ocl/2020007
46. Nourgholipour, F., & Mirzapour, M., (2016). Soil Fertility Management and Nutrition Guidelines of Sunflower Plant. Soil and Water Research Institute. Press. 44 p. (In Persian)
47. Ofosu-Anim, J., & Leitch, M., (2009). Relative efficacy of organic manures in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) production. *Australian Journal of Crop Science*, *3*(1), 13-19.
48. Qaswar, M., Jing, H., Waqas, A., Dongchu, L., Shujun, L., Lu, Z., Cai, A., Lishengi, L., Yongmei, X., Jusheng, G., & Huimin, Z., (2020). Yield sustainability, soil organic carbon sequestration and nutrients balance under long-term combined application of manure and inorganic fertilizers in acidic paddy soil. *Soil and Tillage Research*, *198*, 1-11. DOI: 10.1016/j.still.2019.104569
49. Pourazizi, M., Fallah, S., & Iranipour, R., (2013). Effect of different N sources and rates on dry matter and uptake of primary macronutrients in forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Crop Production*, *6*(2), 185-202. (In Persian).
50. Rathke, G.W., Christen, O., & Diepenbrock, W., (2005). Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Research*, *94*, 103–113.
51. Rigby, D., & Caceres, D., (2001). Organic farming and the sustainability of agricultural system. *Agricultural System*, *68*, 21-40.
52. Ryan, J., Estefan, G., & Rashid, A., (2007). Soil and plant analysis laboratory manual. ICARDA.
53. Salehi, A., Fallah, S., Iranipour, R., & Abasi Surki, A., (2014). Effect of application time of integratedchemical fertilizer with cattle manure on the growth, yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Journal of Agroecology*, *6*(3), 495-507. (In Persian). DOI: 10.22067/jag.v6i3.21290
54. Sloan, R.C. & Harkness, S.S., (2006). Field evaluation ofpollen-free sunflower cultivars for cut flower production. *Hort Technology*, *16*(2), 324-327. DOI: 10.21273/HORTTECH.16.2.0324
55. Sarabi, V., Shojaei Kalajahi, B., & Azizpour, K., (2022). Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to plant nutrition systems in the soil under foliar spraying by amino fish AMI-16, fulvic acid and microfertilizer. *Journal*

of Agroecology, Accepted Manuscript, Available Online from 13 April. (In Persian). DOI: 10.22067/agry.2022.73721.1081

56. Sharma, S.B., Sayyed, R.Z., Trivedi, M.H., & Gobi, T.A., (2013). Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springer Plus*, *2*(1), 587. DOI: 10.1186/2193-1801-2-587
57. Staal, M., Maathuis, F.J.M., Elzenga, J.T.M., Overbeek, J.H.M., & Prins, H.B.A., (1991). Na^+/K^+ antiport activity and tonoplast vesicles from roots of the salt tolerant *Plantago maritima* and the salt sensitive *Plantago media*. *Acta Physiologia Plantarum*, *82*, 179-184. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1991.tb00078.x
58. Wabekwa, J.W., Aminu, D., & Dauda, Z., (2014). Physio-morphological response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to poultry manure in Wamdeo, north-east Nigeria. *International Journal of Advanced Agricultural Research*, *2*, 100-105. DOI: 10.33500/ijaar.2014.02.011
59. Wang, X., Yan, J., Zhang, X., Zhang, S., & Chen, Y., (2020). Organic manure input improves soil water and nutrients use for sustainable maize (*Zea mays* L.) productivity on the Loess Plateau. *Plos One*, *15*(8), e0238042. DOI: 10.1371/journal.pone.0238042
60. Zamil, S.S., Quadir, Q.F., Chowdhury, M.A.H., & Al-Wahid, A., (2004). Effects of different animal manures on yield quality and nutrient uptake by Mustard CV. Agrani. *BRAC University Journal*, *1*(2), 59-66.
61. Zehra, A., Sahito, Z.A., Tong, W., Tang, L., Hamid, Y., Khan, M.B., & Yang, X., (2020). Assessment of sunflower germplasm for phytoremediation of lead-polluted soil and production of seed oil and seed meal for human and animal consumption. *Journal of Environmental Science*, *87*, 24-38. DOI: 10.1016/j.jes.2019.05.031

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

Research Article
Vol. 15, No. 4, 2024, p. 809-823

Environmental Impact Quotient (EIQ) Evaluation of Used Pesticides in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Fields of Bandar-e-Turkeman County, Golestan Province

Maral Niazmoradi[1], Hossein Kazemi[2]*, Javid Gherekhloo[3], Afshin Soltani[4] and Behnam Kamkar[5]

1- Ph.D. Student of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
2-Associate Professor 3 and 4- Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
5- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
(*- Corresponding author's Email: hkazemi@gau.ac.ir)

Received: 11-04-2022
Revised: 16-06-2022
Accepted: 25-12-2022
Available Online: 25-01-2021

How to cite this article:
Niazmoradi, M., Kazemi, H., Gherekhloo, J., Soltani, A., & Kamkar, B. (2024). Environmental Impact Quotient (EIQ) evaluation of used pesticides in wheat (*Triticum aestivum* L.) fields of Bandar-e-Turkeman county, Golestan province. *Journal of Agroecology*, *15*(4), 809-823.
DOI: 10.22067/agry.2022.76161.1106

Introduction

Intensification of agriculture and increasing use of chemical pesticides can have significant environmental effects on other non-target organisms and various environments such as air, soil and water. Growing concerns about the negative effects of pesticides have resulted in some indicators that measure the environmental risk of each pesticide. One of these indicators is the Environmental Impact Quotient (EIQ), which has been used repeatedly to monitor environmental pesticides in a wide range of agricultural and horticultural fields. This study aims to investigate the environmental effects of pesticides used in wheat fields in Bandar-e-Turkeman County in the 2019-2020 year.

Materials and Methods

To implement the model, information about the name, amount of consumption, and times of application of pesticides used by farmers were collected in the form of questionnaires and face-to-face interviews with 59 farmers. The Environmental Impact Quotient (EIQ) of these pesticides was extracted from version 2021 of the Integrated Pest Management (IPM) site. The environmental effect of used pesticides in each wheat field was obtained from the sum of EIQ of pesticides in the consumption and dose of pesticides per hectare. The calculations of this model were done in Excel version 2013.

Results and Discussion

The result showed that the final EIQ score for all toxins had the highest impact on the ecological section. Imidacloprid (92.88), Carbendazim (86.00), Acetamiprid (71.95), Cyproconazole (67.00), and Deltamethrin (65.15) had the highest toxicity for the ecological section, respectively. Based on the results, carbendazim was introduced as the most dangerous and the insecticides Acetamiprid and Imidacloprid were the least dangerous toxins for the farm workers. Calculation of the environmental impact of pesticides per hectare showed a high numerical variation among surveyed fields. So ,the lowest index related to fields No. 25, 55, and 42 had about 6.31, 7.01, and 7.02 environmental impact, respectively. In these fields, no pesticides were used during the wheat growing period and only at the time of planting carboxin fungicide was used for seeds at the rate of 0.45 and 0.50 kg/ha. Fields No. 40, 10, 30, and 35 recorded with EIQ-FUR equal to 41.49, 33.20, 31.20, 30.85, and 30.67, respectively. In these fields, we have observed the highest environmental impact per hectare. In continuing, the

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https:// DOI: 10.22067/agry.2022.76161.1106

distribution map of this index in studied fields was produced. The results showed that there is a different variety in terms of pesticide application in fields, therefore, target points can be determined to farmers for reducing pesticide application and fields with high environmental impact.

Conclusion

The numerical values of the three components of the EIQ index, including risk to farm workers, consumers, and ecology, can vary depending on location. The current values of this index do not consider differences in the technology of application or use of personal protective equipment. It can be concluded that the EIQ model requires changes in the direction of localization within the study areas, including the number of farm workers, specifying the type of tools and equipment used, and separating the type of developed or developing countries. In general, in these fields, the management of pests, and the identification and management of weed diversity can effectively control the amount of pesticide consumption and reducing environmental risks.

Acknowledgments

We would like to thank Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, wheat farmers, and agricultural Jihad management of Bandar-e-Turkeman county for their cooperation in conducting this research.

Keywords: Consumer component, Ecological component, Farmworker component, Herbicide, Insecticide.

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ۸۲۳-۸۰۹

اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مصرفی مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) شهرستان بندر ترکمن، استان گلستان

مارال نیازمرادی[۱]، حسین کاظمی[۲*]، جاوید قرخلو[۳]، افشین سلطانی[٤] و بهنام کامکار[٥]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴

چکیده

این مطالعه جهت بررسی اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) شهرستان بندرترکمن در سال زراعی ۱۳۹۹- ۱۳۹۸ انجام شد. اطلاعات مربوط به نام، میزان مصرف و دفعات کاربرد آفت‌کش‌های مصرفی از مزارع به‌صورت پرسشنامه و مصاحبه حضوری با کشاورزان از ۵۹ مزرعه گندم جمع‌آوری گردید. شاخص اثر زیست‌محیطی (EIQ) این آفت‌کش‌ها از نسخه ۲۰۲۱ سایت مدیریت تلفیقی آفات (IPM) استخراج شد. اثر زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مصرفی در هر مزرعه گندم از مجموع حاصلضرب EIQ آفت‌کش‌ها در میزان مصرف و دوز مصرفی سموم در واحد هکتار به‌دست آمد. نتایج نشان داد که نمره نهایی EIQ برای تمامی سموم، بیش‌ترین تأثیر را از بخش بوم‌شناختی می‌پذیرد. به طوری‌که به‌ترتیب حشره‌کش ایمیداکلوپراید (۹۲/۸۸)، قارچ‌کش کاربندازیم (۸۶/۰۰)، حشره‌کش استامی پراید (۷۱/۹۵)، قارچ‌کش سیپروکونازول (۶۷/۰۰) و حشره‌کش دلتامترین (۶۵/۱۵) بیشترین مقدار سمیت برای بخش بوم‌شناختی داشتند. براساس نتایج، قارچ‌کش کاربندازیم به‌عنوان خطرناک‌ترین و حشره‌کش‌های استامی‌پراید و ایمیداکلوپراید کم‌خطرترین سموم برای بخش کارگر مزرعه معرفی شد. محاسبه اثر زیست‌محیطی آفت‌کش‌ها در واحد هکتار، تنوع عددی بالایی در بین مزارع نشان داد، به‌طوری‌که مزارعی با کم‌ترین میزان این شاخص (شماره‌های ۲۵، ۵۵ و ۴۲) اثر زیست‌محیطی به ترتیب ۶/۳۱، ۷/۰۱ و ۷/۰۲ را نشان دادند. در این مزارع، تنها قارچ‌کش بذرمال کاربوکسین به‌مقدار ۰/۴۵ و ۰/۵۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شده و هیچ آفت‌کش دیگری در مزرعه استفاده نشده است. در مزارع پرخطر (شماره‌های ۴۰، ۱۰، ۳۰، ۹ و ۳۵) با EIQ-FUR برابر با ۴۱/۴۹، ۳۳/۲۰، ۳۱/۲۰، ۳۰/۸۵ و ۳۰/۶۷ به‌ترتیب بیش‌ترین تأثیر زیست‌محیطی در واحد هکتار مشاهده شد. در ادامه، نقشه پراکنش این شاخص در مزارع مورد مطالعه ترسیم شد. نتایج نشان داد که از لحاظ کاربرد آفت‌کش‌ها در مزارع تنوع زیادی وجود دارد. بنابراین، براساس آن می‌توان نقاط هدف برای کاهش مصرف سموم و مناطق با اثرات زیست‌محیطی بالا را برای کشاورزان مشخص نمود.

واژه‌های کلیدی: حشره‌کش، جزء بوم‌شناختی، جزء کارگر مزرعه، جزء مصرف‌کننده، علف‌کش، حشره‌کش

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۲- دانشیار، ۳- و ۴- استاد، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۵- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: hkazemi@gau.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2022.76161.1106

مقدمه

در عصر حاضر، محیط زیست یکی از مؤلفه‌های اصلی در سیاست‌های کلان جهانی بوده و بسیاری از مؤلفه‌های دیگر را تحت الشعاع قرار داده است. به همین دلیل، عامل و پیش‌نیاز بسیاری از فعالیت‌ها در سطح کلان، سازگاری با محیط زیست است و آلودگی-های زیست‌محیطی یکی از مهم‌ترین چالش‌های جامعه انسانی در قرن بیست و یکم می‌باشد (Masoumkhani et al., 2019). بنابراین، تصمیم اینکه چگونه و به چه میزان انسان باید از منابع مصرف کند، امری بسیار دشوار و نیازمند پژوهش‌ها و آنالیزهای علمی پیچیده است (Hassani et al., 2020). افزایش عرضه جهانی غذا، مستلزم تشدید تولیدات کشاورزی است، زیرا زمینه کمی برای گسترش سطح زیرکشت اراضی کشاورزی کنونی در سطح جهان وجود دارد. تشدید کشاورزی شامل استفاده از ارقام بهبود یافته محصولات زراعی و کاربرد شدیدتر و کارآمدتر آب و مواد غذایی گیاهان است. با اینکه افزایش کاربرد آفت‌کش‌ها خود به‌طور مستقیم به عملکرد بهتر محصولات کمک نمی‌نماید، امّا به‌سادگی می‌تواند به کنترل تلفات احتمالی ناشی از موجودات آفت (مانند حشرات، کنه‌ها، نماتدها و جوندگان)، بیماری‌های گیاهی (مانند قارچ، ویروس‌ها و باکتری‌ها) و علف‌های هرز کمک کند (Schreinemachers & Tipraqsa, 2012).

از آنجا که آفت‌کش‌ها برای گروه‌های خاصی از موجودات مضر طراحی شده‌اند، می‌توانند تأثیرات زیست‌محیطی قابل ملاحظه‌ای بر سایر موجودات زنده غیر هدف و همچنین محیط‌های مختلف از جمله هوا، خاک یا آب داشته باشند (Wan, 2015). برخی از سموم دفع آفات حاوی آلاینده‌های آلی پایدار هستند که در برابر تجزیه شدن مقاومت می‌کنند و بنابراین، سال‌ها در محیط باقی می‌مانند (Yadav et al., 2015) و می‌توانند منجر به تجمع و بزرگنمایی زیستی شوند. استفاده مکرر از سموم دفع آفات منجر به از بین رفتن تنوع زیستی و افزایش مقاومت آفات در برابر آن‌ها می‌گردد (Kim et al., 2017). همچنین آلودگی هوا از طریق سموم دفع آفات ممکن است به‌وسیله بادبردگی آفت‌کش‌ها و تبخیر آن‌ها پس از کاربرد ایجاد شود. در یک مطالعه، غلظت آفت‌کش‌ها در هوای سه مکان کشت سیب‌زمینی در جزیره پرنس ادوارد (کانادا) اندازه‌گیری شد. حضور قارچ‌کش کلروتالونیل در همه جا و به‌طور همه‌گیر با غلظت بسیار زیاد، نشان-دهنده استفاده مکرر آن در مزارع سیب‌زمینی بود (White et al., 2006). بقایای آفت‌کش‌ها در باران و آب‌های زیر زمینی نیز یافت شده است. در تحقیقی که در مجارستان انجام شد، رایج‌ترین آلاینده-های موجود در آب عبارت بودند از: آترازین (شش درصد)، استوکلر (چهار درصد)، پروپیسوکلر (۱/۵ درصد)، متوکلر (۱/۵ درصد)، دیازینون (یک درصد) و توفوردی (یک درصد) (Székács et al., 2015). در پژوهشی در ترکیه، غلظت‌های بتاهگزاسیکلوهگزان (β-HCL)، 4,4-DDT، اندرین‌کتون و متوکسی‌کلر در نمونه‌های آب آشامیدنی، به-ترتیب ۰/۲۸۱، ۰/۱۳۸، ۰/۱۲۰ و ۰/۱۲۰ میکروگرم بر لیتر گزارش شد (Bulut et al., 2010).

کاربرد گسترده آفت‌کش‌ها در کشاورزی مدرن و افزایش نگرانی در طول ۳۰ سال گذشته در مورد تأثیر غیر هدف آفت‌کش‌ها، سیاست‌گذاران و مجامع علمی را وادار به توسعه مجموعه‌ای از ابزارها برای بهبود نظارت بر آفت‌کش‌ها کرده است. درحالی‌که نگرانی‌های زیست‌محیطی عمدتاً مربوط به آلودگی‌های آب و خاک و همچنین پیامدهای بوم‌شناختی آن‌ها بود، محققان بهداشت عمومی عمدتاً بر مشکلات بهداشتی نظیر بیماری سرطان، اختلال هورمونی، آسم، حساسیت، بیماری‌های ناباروری و مسائل مربوط به تولید مثل در انسان مانند نقایص مادرزادی، کاهش وزن هنگام تولد، مرگ جنین و غیره متمرکز شدند که بیش‌تر آن‌ها در میان کشاورزان و افراد روستایی ساکن در نزدیک مکان‌های کاربرد آفت‌کش‌ها یافت شدند (Kim et al., 2017Wan, 2015;). نظارت بر کمینه‌سازی خطرات ناشی از استفاده از آفت‌کش‌ها حتی برای کشورهای توسعه یافته نیز دشوار است، زیرا آفت‌کش‌ها از نظر سمیت متنوع هستند، برای مثال در جمع‌بندی آفت‌کش‌ها توسط تاملین (Tomlin, 2009) تعداد ۹۰۸ ماده مؤثره ذکر شده است. به‌علاوه میزان خطر نیز بستگی به شرایطی دارد که در آن موجودات غیر هدف در معرض آفت‌کش‌ها قرار می‌گیرند (Schreinemachers et al., 2011). در این میان، شاخص‌هایی وجود دارند که می‌توانند جنبه‌های سمیت یک آفت‌کش را اندازه‌گیری نموده و میزان خطر ذاتی برای یک ماده را ارائه دهند. هر شاخص دارای مزایای خاصی است، زیرا جنبه‌های متعدد خطر مرتبط با آفت‌کش‌ها را پوشش می‌دهد و روش‌های مختلفی را برای ارزیابی خطر به‌کار می‌گیرد. آن‌ها می‌توانند توسط انواع کاربران مانند کشاورزان، عوامل توسعه، سازمان‌های نظارتی و دانشگاه‌ها مورد

استفاده قرار گیرند و به‌عنوان پایه‌ای برای ارزیابی راهبردهای مختلف مدیریت آفات و برای توسعه، پایش و ارزیابی سیاست‌های زیست‌محیطی و سلامت عمل کنند (Feola et al., 2011). یکی از این شاخص‌ها، تأثیر زیست‌محیطی (EIQ)[1] است که بارها برای نظارت بر آفت‌کش‌های محیطی در طیف وسیعی از زمینه‌های کشاورزی و باغبانی به‌کار گرفته شده است (Cross & Edward-Jones, 2011). این شاخص بر مبنای معادلات جبری به‌منظور سازمان‌دهی اطلاعات موجود در رابطه با مخاطرات زیست‌محیطی سموم دفع آفات شیمیایی توسعه یافته است تا براساس نتایج حاصل از این مدل، بتوان آفت‌کش‌های شیمیایی را بر مبنای مخاطرات زیست‌محیطی و خطرات موجود برای سلامت انسان طبقه‌بندی کرد و سمومی که کم‌ترین مخاطرات را به‌دنبال دارند، انتخاب نمود (Kovach et al., 1992). همچنین سهولت و سادگی در اندازه‌گیری از مشخصه‌های مناسب شاخص‌های ارزیابی زیست‌محیطی به‌شمار می‌رود.

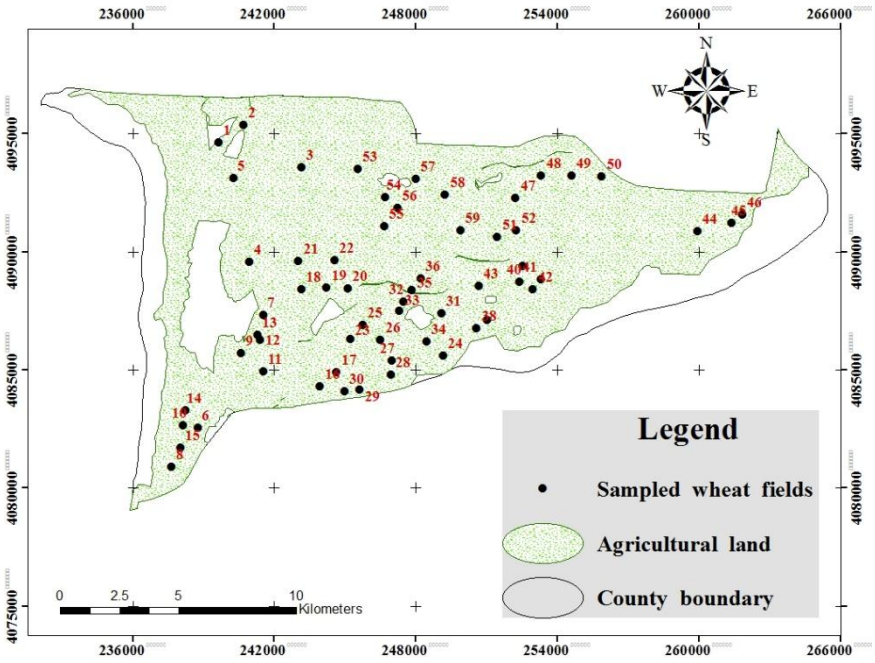
شاخص‌های زیست‌محیطی را به‌سادگی می‌توان اندازه‌گیری کرد و حتی در صورت کمبود اطلاعات که از جمله مهم‌ترین مشکلات به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه می‌باشد نیز قابل ارزیابی است (Moeinodini et al., 2014Feola et al., 2011 ;). مطالعه تنوع خطر آفت‌کش‌ها در تولید محصولات زراعی بریتانیای کبیر بین سال‌های ۲۰۰۸- ۱۹۹۲، به‌عنوان شاخصی برای نظارت بیش‌تر بر اثربخشی مقررات جدید اروپا برای کاهش تأثیر زیست‌محیطی آفت‌کش‌ها بر موجودات غیر هدف پیشنهاد شده است. براساس نتایج این تحقیق، رتبه‌بندی مقادیر شاخص‌های EIQ و EI[2] در طول این دوره کاهش یافته است، امّا میزان تغییرات متناسب با نوع محصول متفاوت بوده و روند افزایشی یا کاهشی را نشان داده و در شش سال پایانی دوره، روند نزولی نداشته است (Cross & Edward-Jones, 2011). در مطالعه تعیین رابطه بین استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی مصنوعی و تشدید کشاورزی در ارتفاعات شمالی تایلند، نتایج نشان داد که ۷۷ درصد از کشاورزان برای مدیریت آفات خود، تنها به آفت‌کش‌های مصنوعی تکیه دارند. به‌طور متوسط هر کشاورز ۱۳/۳ کیلوگرم ماده مؤثره در هر هکتار از مزرعه خود به‌کار برده، امّا با این حال تنوع آفات زیاد بوده است. به‌علاوه، آن دسته از کشاورزانی که گواهینامه عمومی شیوه‌های خوب کشاورزی (Q-GAP) را دریافت کرده بودند، قادر به کاهش کاربرد سموم دفع آفات و تأثیر زیست‌محیطی آن نبودند (Schreinemachers & Tipraqsa, 2012). در تحقیقی در مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.)، سویا (*Glycine max* L. Merr.)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) و کلزا (*Brassica napus* L.) در شهرستان گرگان، نتایج نشان داد که میزان مصرف سموم در مزارع پنبه و سویا، بیش از میانگین در سایر مزارع بوده و این مزارع در آلودگی محیط زیست بیش‌ترین سهم را دارا می‌باشند (Alame et al., 2013).

در زراعت گندم و جو در کشور حدود ۴۲۰۰ تن آفت‌کش مصرف می‌شود. با توجه به سطح زیرکشت گندم و جو (۸/۱ میلیون هکتار) آفت‌کش‌های مصرفی به‌ازای هر هکتار، حدود ۵۱۸ گرم (میلی‌لیتر) می‌باشد. از طرفی، تولید گندم و جو در کشور، حدود ۱۸ میلیون تن است. بنابراین، سم مصرفی به‌ازای تولید یک کیلوگرم گندم حدود ۰/۲ گرم است (Heidari et al., 2015). بنابراین، بررسی عوارض و اثرات منفی مصرف این میزان آفت‌کش در مزارع گندم ضروری به‌نظر می‌رسد. این تحقیق به‌منظور بررسی اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مصرفی و تهیه نقشه شاخص EIQ در سطح اراضی گندم شهرستان بندر ترکمن، انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۹- ۱۳۹۸ در ۵۹ مزرعه گندم واقع در چهار جهت اصلی شهرستان بندر ترکمن (استان گلستان) که به‌صورت تصادفی انتخاب شدند، انجام شد (شکل ۱). بدین منظور در دو بازه زمانی قبل و پس از کنترل شیمیایی (بهمن ماه ۹۸ و فروردین ۹۹) بازدید و نمونه‌برداری از گیاهان هرز و حشرات مفید و آفت در این مزارع صورت گرفت و به‌علاوه اطلاعات مربوط به کلیه سموم مورد استفاده جهت مبارزه و کنترل آفات گیاهی (از جمله حشرات و کنه‌ها، قارچ‌های بیماری‌زا و علف‌های هرز) بر حسب نوع، دفعات سمپاشی، غلظت ماده مؤثره و همین‌طور عملکرد گندم در واحد هکتار در قالب پرسشنامه و پایش مزارع جمع‌آوری شد.

1 - Environmental Impact Quotient



شکل ۱- موقعیت مزارع گندم نمونه‌برداری شده در شهرستان بندر ترکمن

Fig. 1- Location of sampled wheat fields in Bandar-e-Turkeman county

برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مصرفی در این بررسی، از روش EIQ استفاده شد. مقدار عددی این شاخص، میانگین سه جزء اصلی آسیب شامل آسیب بالقوه برای سلامت کارگران مزرعه، آسیب به مصرف‌کنندگان از طریق اثر مستقیم مواد سمی باقی مانده در محصولات غذایی و یا از طریق آلودگی آب‌های زیرزمینی و اثرات منفی بالقوه برای محیط زیست شامل موجودات زنده آبزی و خشکی‌زی را نشان می‌دهد. جزئیات محاسبه هر یک از این سه بخش ارائه شده است (Kovach et al., 1992). بدین ترتیب، مدل EIQ مجموعه اطلاعات اثرات زیست‌محیطی مصرف آفت‌کش به‌صورت یک عدد از طریق معادله مبتنی بر سه جزء اصلی گفته شده را ارائه می‌دهد که در معادله ۱ نشان داده شده است (Bazregar et al., 2013).

که در این معادله، DT: سمیت پوستی، C: سمیت مزمن، SY: سیستمیک بودن، F: سمیت برای ماهی‌ها، L: پتانسیل آبشویی، R:

معادله (۱)

$$EIQ = \{[C(DT \times 5) + (DT \times P)] + [(C \times ((S+P)/2) \times (SY) + (L)] + (L)] + [(F \times R) + (D \times ((S+P)/2) \times 3) + (Z \times P \times 3) + (B \times P \times 5)]\}/3$$

پتانسیل تلفات سطحی، D: سمیت برای پرندگان، S: نیمه عمر خاک، Z: سمیت برای زنبور عسل، B: سمیت برای بندپایان سودمند و P: نیمه عمر در سطح گیاه است. اعداد مربوط به هر یک از این سموم ثابت بوده و طی تحقیقات و آزمایش‌ها در منابع مختلف به‌دست می‌آیند. برآورد حدود ۳۲۲ آفت‌کش با استفاده از مدل EIQ در وبگاه http://www.nysipm.cornell.edu/publication/eiq/files/EIQ_values04.pdf قابل دسترس می‌باشد (Ramezani, 2013). در این پژوهش، از آخرین نسخه به‌روزرسانی شده این سایت در سال ۲۰۲۰ استفاده شد (جدول ۱). اطلاعات مربوط به سموم آفت‌کش مورد استفاده در هر مزرعه، در جدول ۲ گردآوری شدند. مقادیر ممکن برای این شاخص می‌تواند در محدوده ۲۲۶/۷-۶/۷ برای تمامی آفت‌کش‌ها باشد. چون برای علف‌کش‌ها همیشه متغیر SY برابر عدد یک و P عدد سه است، بیشینه مقدار EIQ برای علف‌کش‌ها ۱۴۳/۳ می‌باشد (Kniss & Coburn, 2015).

جدول ۱- اجزای شاخص زیست‌محیطی (EIQ) برای آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم شهرستان بندر ترکمن

Table 1- Components of Environmental Impact Quotient (EIQ) for pesticides used in wheat fields of Bandar-e-Turkmen county

رده Class	نام عمومی Common name	نام تجاری Commerical name	اجزای شاخص تأثیر زیست‌محیطی آفت‌کش‌ها Components of pesticide environmental impact quotient				مقدار EIQ EIQ value	ماده مؤثره Active ingredient (%)
			کارگر مزرعه Farm worker	مصرف‌کننده consumer	بوم‌شناختی Ecological	عدد گم شده Missing number		
حشره کش Insecticide	استامی پراید Acetamiprid	موسپیلان Mospilan	6.90	7.35	71.95	P	28.73	0.20
	دلتامترین Deltamethrin	دسیس Decis	18.00	2.00	65.15	-	28.38	0.02
	ایمیداکلوپراید Imidacloprid	کونفیدور Confidor	6.90	10.35	92.88	P	36.71	0.35
قارچ کش Fungicide	کاربندازیم Carbendazim	باویستین Bavistin	25.00	40.50	86.00	Z	50.50	0.60
	کاربوکسین Carboxin	ویتاواکس تیرام Vitavax thiram	8.10	7.15	55.87	-	18.71	0.75
	پروپیکونازول Propiconazole	تیلت Tilt	12.00	19.00	63.90	-	31.63	0.25
	سیپروکونازول Cyproconazole	آلتو Alto	20.25	25.88	67.95	P	38.03	0.10
علف کش Herbicide	توفوردی 2,4-D	یو ۴۶ دی U 46 D	8.00	5.00	33.00	-	15.33	0.72
	مزوسولفورون+ یدوسولفورون+ مفن‌پایر Mesosulfuron + iodosulfuron + mefenpyre	آتلانتیس Atlantis	8.00	6.00	54.00	-	22.67	0.03
	تری بنورون متیل Tribenuron-methyl	گرانستار Granstar	12.00	6.10	33.40	-	17.17	0.75
	کلودینافوپ پروپارژیل Clodinafop-propargyl	تاپیک Topik	16.00	5.00	55.00	-	25.33	0.08
	بروموکسینیل+ام‌سی‌پی‌آ Bromoxinil+MCPA	بروماید اس‌آ Bromicide MA	12.00	6.00	33.00	P	17.00	0.22

با توجه به این که خطر محیطی یک آفت‌کش تابعی از میزان سمیت آن و مقداری است که در تماس با محیط، جاندار و یا انسان قرار می‌گیرد، بنابراین برای کمّی کردن اثرات محیطی سموم آفت‌کش در مزارع گندم، پس از محاسبه شاخص تأثیر زیست‌محیطی (اثر بالقوه)، براساس معادله ۲ میزان اثر محیطی هر آفت‌کش در واحد هکتار، با توجه به میزان مصرف و ماده مؤثره محاسبه و آفت‌کش‌های پرخطر برای سلامت انسان و محیط زیست شناسایی گردید. برای اندازه‌گیری میزان شاخص زیست‌محیطی یک سم در واحد سطح (هکتار) در یک مزرعه، از حاصل‌ضرب مقادیر EIQ در میزان ماده مؤثره هر آفت‌کش و مقدار مصرف آفت‌کش در مزرعه استفاده شد. در نهایت، مقادیر EIQ-FUR برای هر آفت‌کش به‌کار رفته در هر مزرعه، برای تعیین اثر زیست‌محیطی تولید هر محصول در مدیریت آفات، جمع زده شدند (معادله ۲) (Moeinodini et al., 2014).

معادله (۲):

$$EIQ_{FUR} = EIQ \times \%activeingredient \times RA$$

که در آن، EIQ-FUR: اثر زیست‌محیطی در واحد هکتار، EIQ:

شاخص تأثیر زیست‌محیطی آفت‌کش، RA: میزان مصرف آفت‌کش در واحد هکتار در مزرعه و ai: درصد ماده مؤثره آفت‌کش می‌باشد. به‌منظور ترسیم نقشه اثر زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مصرفی مزارع گندم شهرستان، ابتدا یک پایگاه اطلاعاتی شامل مختصات مکانی ثبت شده هر مزرعه و مقدار عددی شاخص در صفحه Excel ایجاد و سپس لایه‌های کاربری اراضی کشاورزی و مرز شهرستان در نرم‌افزار ArcGIS در محیط ArcMap نسخه ۱۰/۸ فراخوانی و شاخص اثر زیست‌محیطی به‌صورت نقشه، خروجی گرفته شد.

جدول ۲- فهرست آفت‌کش‌های مصرف شده در مزارع گندم شهرستان بندر ترکمن

Table 2- List of pesticides used in wheat fields of Bandar-e-Turkeman county

نام آفت‌کش Pesticide name	شماره مزرعه Field number	نام آفت‌کش Pesticide name	شماره مزرعه Field number
پروپیکونازول Propiconazole	3, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 27, 29, 30, 31, 33, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 44, 46, 47, 50, 53, 54, 57, 58, 59	کلودینافوپ پروپارژیل Clodinafop-propargyl	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 13, 14, 18, 19, 22, 29, 31, 33, 36, 37, 38, 39, 41, 44, 46, 49, 50, 53, 55, 57, 58, 59
تری بنورون متیل Tribenuron-methyl	2, 5, 9, 14, 30, 31, 35, 36, 38, 39, 41, 44, 46, 48, 49, 50, 51, 55, 58	مزوسولفورون+ یدوسولفورون+ مفن‌پایر Mesosulfuron + iodosulfuron + mefenpyre	7, 8, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 34, 43, 45, 47, 52, 54
سیپروکونازول Cyproconazole	1, 14, 16, 23, 26, 28, 32, 34, 40, 45, 48, 49, 52, 55	کاربندازیم Carbendazim	9, 10, 17, 35, 36, 40, 53
دلتامترین Deltamethrin	16, 23, 28, 34, 35	توفوردی 2,4-D	8, 10, 30
بروموکسینیل-ام‌سی‌پی‌آ Bromoxinil+MCPA	7, 53	استامی پراید Acetamiprid	17
ایمیداکلوپراید Imidacloprid	40	کاربوکسین Carboxin	تمامی مزارع All fields

نتایج و بحث

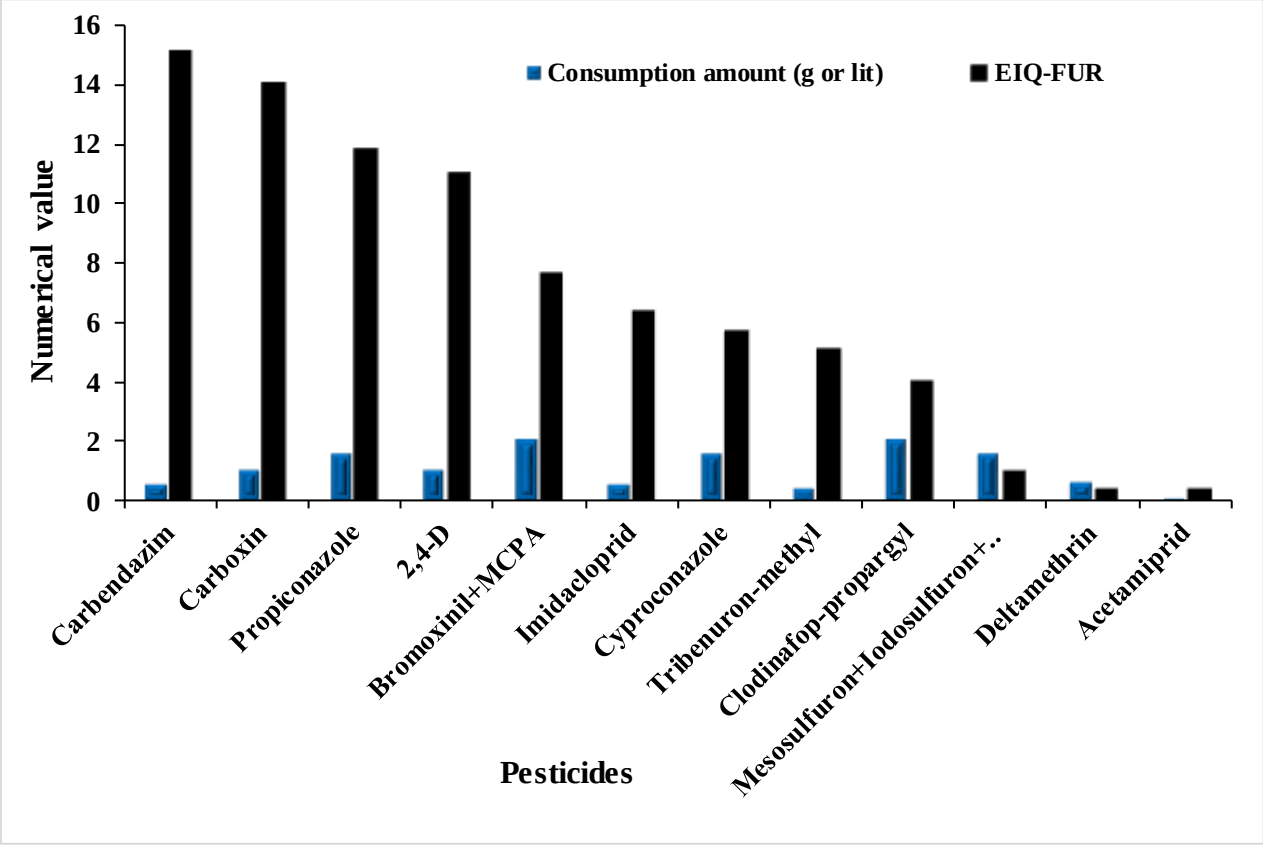
بررسی اجزای شاخص زیست‌محیطی سموم شیمیایی مصرفی در مزارع گندم شهرستان بندر ترکمن، نشان داد که نمره نهایی EIQ برای تمامی سموم، بیش‌ترین تأثیر را از بخش بوم‌شناختی می‌پذیرد (جدول ۱). به‌طوری‌که به‌ترتیب حشره‌کش ایمیداکلوپراید (۹۲/۸۸)، قارچ‌کش کاربندازیم (۸۶/۰۰)، حشره‌کش استامی پراید (۷۱/۹۵)، قارچ‌کش سیپروکونازول (۶۷/۰۰) و حشره‌کش دلتامترین (۶۵/۱۵) بیشترین مقدار سمیت برای بخش بوم‌شناختی را داشته و در نمره نهایی EIQ برای این سموم سهم بسزایی داشتند. در ارزیابی زیست‌محیطی سموم کشاورزی مورد استفاده در مزارع پنبه استان گلستان مشخص شد که مصرف سموم بیش‌ترین تأثیر را در بین سه مؤلفه اصلی کارگران مزرعه، مصرف‌کنندگان و جزء بوم‌شناختی، بر بخش بوم‌شناختی شامل اجزای آبزیان، زنبورها، موجودات مفید و پرندگان داشته است (Arefi et al., 2019). مقایسه سه بخش فرمول EIQ برای سموم مصرفی گویای آن است که کارگران مزرعه در هنگام سم‌پاشی بایستی اصول بهداشتی و مراقبتی را رعایت نمایند، زیرا خطر این سموم بیش‌تر متوجه کارگران مزرعه می‌باشد. طبق اطلاعات مندرج در جدول ۱، قارچ‌کش کاربندازیم بیش‌ترین (۴۰/۵۰) و حشره‌کش دلتامترین (۲/۰۰) کم‌ترین آسیب را به بخش مصرف‌کننده وارد می‌کنند که با نتایج پژوهش بررسی شاخص EIQ آفت‌کش‌های مصرفی در محصول گندم و جو در مشهد هم‌خوانی دارد (Maleki et al., 2015). همچنین نتایج نشان داد که قارچ‌کش کاربندازیم خطرناک‌ترین و حشره‌کش‌های استامی‌پراید و ایمیداکلوپراید کم‌خطرترین سموم برای کارگران مزرعه می‌باشند (جدول ۱). بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که قارچ‌کش کاربندازیم سمی خطرناک برای هر سه بخش بوم‌شناختی، مصرف‌کننده و کارگر مزرعه بوده و جایگزینی آن با سایر قارچ‌کش‌های کم خطر مانند کاربوکسین جهت ضدعفونی بذور، راه حل مناسبی جهت کاهش خطر آسیب به بخش‌های مختلف زیست‌محیطی می‌باشد. بنابر نتایج مندرج در جدول ۱، علف‌کش‌های توفوردی، بروموکسینیل و تری بنورون متیل دارای کم‌ترین مقدار شاخص زیست‌محیطی (EIQ) در میان سموم مصرفی می‌باشند. محاسبه میزان شاخص اثر زیست‌محیطی سموم مصرفی با تأثیر مقدار ماده مؤثره و میزان کاربرد

آن‌ها در یک هکتار در شکل ۲، نشان می‌دهد که بیش‌ترین خطر زیست‌محیطی (EIQ-FUR) مربوط به کاربرد ۰/۵ لیتر سم کاربندازیم (۱۵/۱۵) می‌باشد. مصرف یک گرم از قارچ‌کش بذرمال کاربوکسین و یک لیتر از علف‌کش توفوردی با حصول EIQ-FUR برابر با ۱۴/۰۳ و ۱۱/۰۳، به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی بالاترین مقدار این شاخص قرار گرفتند. از میان ۵۹ مزرعه مورد بررسی در این شهرستان، کم‌تر از ۱۰ کشاورز از سموم حشره‌کش استفاده کردند و از میان سه نوع حشره-کش موجود، کاربرد ۰/۵ لیتر سم ایمیداکلوپراید (کونفیدور) بیش‌ترین آسیب محیطی را نشان داد (شکل ۲). بر طبق جدول ۲، قارچ‌کش غالب مصرفی در مزارع مورد بررسی، پروپیکونازول بوده است، امّا مقایسه قارچ‌کش‌های به‌کار رفته در این شکل، قارچ‌کش سیپروکونازول (آلتو) را به‌عنوان سمی کم خطر جهت مقابله با بیماری‌های قارچی معرفی می‌کند، زیرا مصرف ۱/۵ لیتر از این سم، مقدار EIQ-FUR کم‌تری نسبت به سم پروپیکونازول (تیلت) دارا می‌باشد. همچنین مصرف ۱/۵ لیتر از سم متیل مزوسولفورون (آتلانتیس) در میان علف‌کش‌های مصرفی در گندم‌زارهای شهرستان، کم‌ترین میزان خطر زیست‌محیطی را نشان داد و می‌توان نتیجه گرفت، استفاده از این علف‌کش دو منظوره پهن‌برگ و باریک‌برگ - کش می‌تواند تا حدود زیادی منجر به کاهش آسیب‌های محیطی سموم گردد، زیرا تمرکز بیش‌تر کشاورزان منطقه بر استفاده از علف-کش‌ها می‌باشد. استفاده از سمومی با مقادیر EIQ-FUR کم‌تر و جایگزینی این سموم با آفت‌کش‌های پر خطر، می‌تواند به سلامت محیط و انسان کمک شایانی نماید. به‌نظر می‌رسد برای محدود کردن اثرات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد آفت‌کش‌های مصنوعی، بایستی اولویت بیش‌تری به توسعه و ترویج روش‌های غیر صنعتی کنترل آفات داده و همزمان عرضه آفت‌کش‌های بسیار خطرناک به‌تدریج محدود گردد (Schreinemachers et al., 2011). جدول ۳ اثر زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مصرف شده در مزارع گندم شهرستان را نشان می‌دهد. تنوع عددی اثرات زیست‌محیطی مزارع به‌دلیل استفاده از آفت‌کش‌های متفاوت و مقادیر مختلف مصرف آفت‌کش در واحد هکتار توسط کشاورزان می‌باشد. در واقع، تنوع در مدیریت شیمیایی کشاورزان منطقه (جدول ۲)، منجر به دامنه گسترده از اعداد مربوط به اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش شده است. در مزارع شماره ۲۵، ۵۵ و ۴۲ با اثر زیست‌محیطی به‌ترتیب ۶/۳۱، ۷/۰۱ و ۷/۰۲ تنها قارچ‌کش بذرمال ویتاواکس تیرام به‌مقدار ۰/۴۵ و ۰/۵۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شده و هیچ آفت‌کش دیگری در مزرعه استفاده نشده است (جدول ۲).

مزرعه شماره ۲۴ با وجود مصرف قارچ‌کش کاربوکسین (۰/۴کیلوگرم در هکتار) و علف‌کش متیل مزوسولفورون (۱/۵ لیتر در هکتار)، از مقدار اثر زیست‌محیطی پایینی (۶/۶۳) برخوردار است. دلیل این امر، استفاده از مقدار کم‌تر قارچ‌کش بذرمال و کاربرد علف‌کشی است که دارای ماده مؤثره و شاخص EIQ پایین‌تری می‌باشد (جدول ۱). بر طبق جدول ۳، مزارع شماره ۴۰، ۱۰، ۳۰، ۹ و ۳۵ با EIQ-FUR برابر با ۴۱/۴۹، ۳۳/۲۰، ۳۱/۲۰، ۳۰/۸۵ و ۳۰/۶۷ به‌ترتیب بیش‌ترین تأثیر زیست‌محیطی در واحد هکتار را دارا می‌باشند. بالابودن مقدار این شاخص در این مزارع به‌غیر از مزرعه شماره ۳۰، استفاده قارچ‌کش‌های کاربندازیم و پروپیکونازول (تیلت) می‌باشد. کاربرد ۰/۵ لیتر از سم کاربندازیم و ۱/۵ لیتر از سم پروپیکونازول اثر محیطی برابر با ۱۵/۱۵ و ۱۱/۸۶ را داراست. مصرف یک لیتر از سم پهن‌برگ‌کش توفوردی اثر زیست‌محیطی تقریباً برابر با ۱/۵ لیتر سم پروپیکونازول ایجاد می‌کند. استفاده از این دو سم در مزرعه شماره ۳۰ باعث افزایش این شاخص گردیده است (جدول و شکل ۲). استفاده از علف‌کش دو منظوره مانند متیل مزوسولفورون (آتلانتیس)، حشره‌کش دلتامترین، قارچ‌کش‌های سیپروکونازول (آلتو) و کاربوکسین در مزارع شماره ۲۸، ۲۶ و ۳۴ با وجود کاربرد سموم متفاوت جهت کنترل آفات مختلف، میزان اثر زیست‌محیطی کم‌تری نسبت به سایر مزارعی نشان داد که تنها از دو یا سه سم خطرناک استفاده کردند. در واقع، با کاربرد سمومی با اثر زیست‌محیطی پایین‌تر از هر گروه که دارای شاخص زیست‌محیطی (EIQ) و مقدار مصرف کم‌تر باشند، می‌توان اثر زیست‌محیطی مزارع را کاهش داد (جدول ۲).

در شکل ۳، اثرات محیطی آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم شهرستان به‌صورت مکانی نشان داده شده است. براساس این نقشه، مزارعی با حداقل اثر زیست‌محیطی (۶/۳۲ تا ۷/۸۸) در بخش مرکزی و جنوبی شهرستان و طبقه بعدی (۹/۰۸ – ۱۱/۴۹) در یک نوار جنوبی از غرب تا شرق کشیده شده است. شاخص زیست‌محیطی مربوط به تعداد زیادی از مزارع نمونه‌برداری شده، به میانگین اثرات زیست‌محیطی کلی شهرستان نزدیک بود و فراوانی بالایی نسبت به طبقات دیگر داشته و در سطح منطقه مورد نظر به‌شکل پراکنده قرار گرفتند. بر طبق جدول ۳ و شکل ۳، بیشینه مقدار این شاخص به پنج مزرعه تعلق داشت که در قسمت جنوبی و مرکز شهرستان واقع بودند.

به‌طور کلی، دلیل منطقی و توجیه‌پذیری درباره چگونگی و نحوه پراکنش این نقاط نمی‌توان یافت، زیرا مدیریت شیمیایی هر کشاورز مختص به خود بوده و طبق سلیقه شخص انجام می‌شود. به‌طور مثال، گاه کشاورز (به‌خصوص زمانی که از تناوب‌های مختلف گیاهی بهره نمی‌برند) چند نوع آفت‌کش خاص را انتخاب کرده و برای چندین سال متوالی از آن‌ها استفاده می‌کند. در اکثر موارد عدم آگاهی کشاورز از راهبردهای جدید کنترل آفات و یا سمومی با خطرات زیست‌محیطی پایین‌تر، می‌تواند دلیلی برای تکرار استفاده از آفت-کش‌های خاص باشد. همچنین عدم آگاهی کشاورز از قارچ‌کش یا آفت‌کش‌های بذرمال، می‌تواند منجر به ظهور آفات برگخوار در مرحله ابتدایی رشد گیاه‌گردد که در مقابل، اطلاع‌رسانی به کشاورز می‌تواند از هزینه‌های آینده کنترل آفات و افزایش اثر زیست‌محیطی آفت‌کش‌ها جلوگیری کند. کشاورزان بر اساس شنیده‌ها و تعاریف دیگران اقدام به خرید و مصرف سموم شیمیایی نموده و گاهی برای تأثیر بیش‌تر، مقادیر مصرفی از میزان توصیه شده آفت‌کش فراتر می‌رود. بر اساس جدول ۲، می‌توان نتیجه گرفت کشاورزان این منطقه تمایل زیادی به استفاده از سموم شیمیایی ندارند که دلیل آن می‌تواند عدم صرفه اقتصادی خرید و مصرف آفت‌کش‌ها در برابر حصول عملکرد پایین محصول از مزارع باشد.



شکل ۲- مقادیر مختلف مصرف سموم (حشره‌کش، علف‌کش و قارچ‌کش) و شاخص زیست‌محیطی آن‌ها در یک هکتار از مزرعه گندم

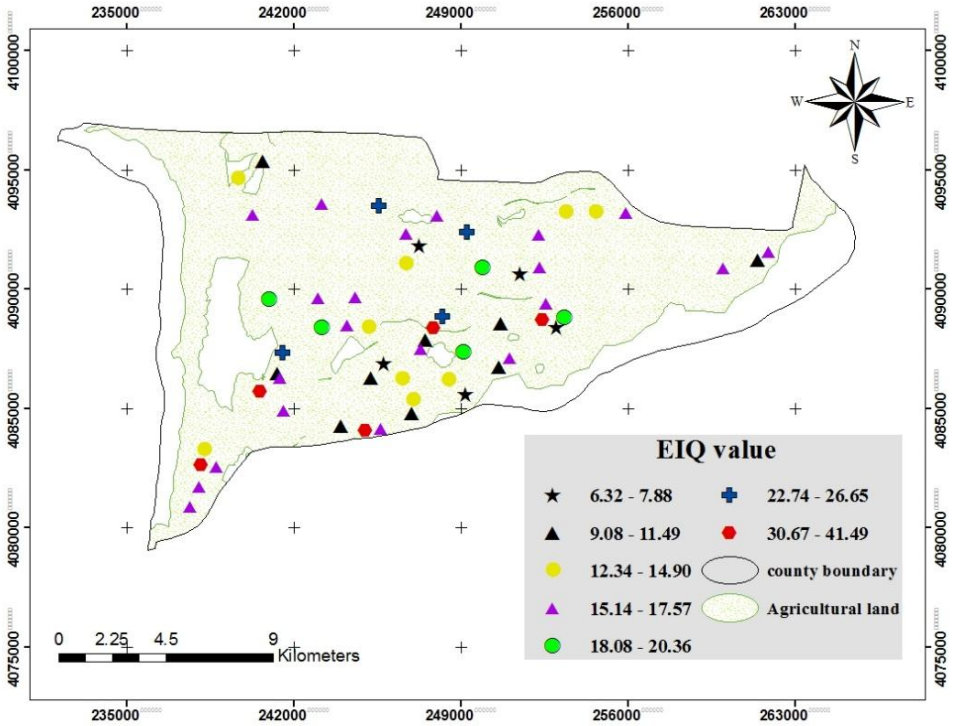
Fig. 2- Different consumption amounts of pesticides (insecticides, herbicides, and fungicides) and their environmental index per hectare of wheat fields

جدول ۳- اثر محیط‌زیستی آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم شهرستان بندر ترکمن

Table 3- Environmental impact quotient in wheat fields of Bandar-e-Torkeman county

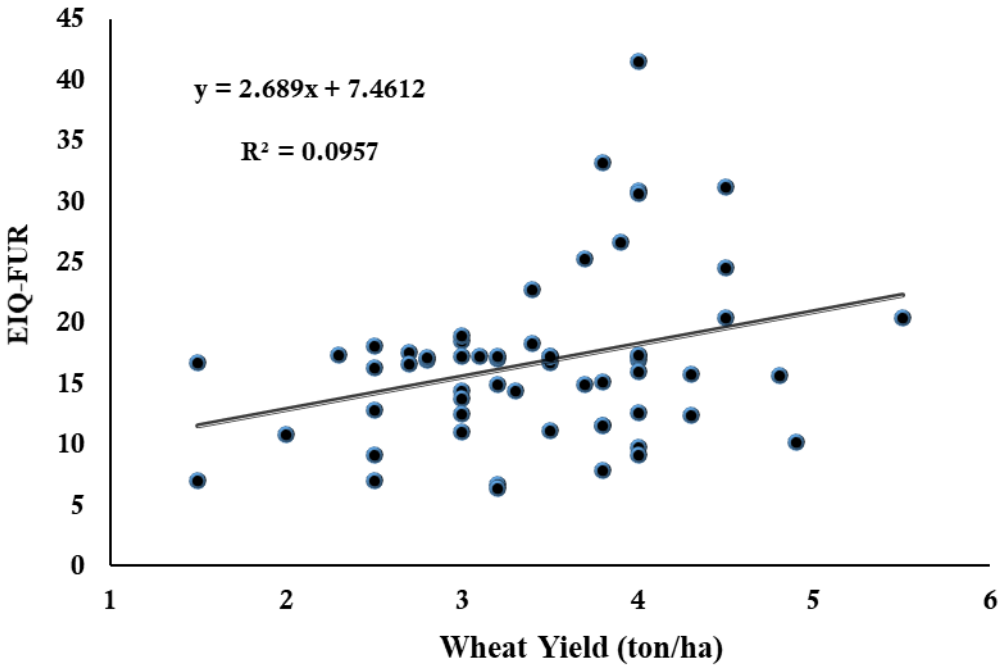
شماره مزرعه Field number	مختصات Coordinate		شاخص محیط زیستی EIQ-FUR	شماره مزرعه Field number	مختصات Coordinate		شاخص محیط زیستی EIQ-FUR
	X	Y			X	Y	
1	239655	4094626	12.85	31	249101	4087378	18.24
2	240707	4095357	9.13	32	247502	4087863	10.82
3	243188	4093575	17.36	33	247330	4087477	17.27
4	240969	4089577	18.09	34	248475	4086201	12.55
5	240278	4093120	16.74	35	247866	4088362	30.67
6	238769	4082534	17.57	36	248241	4088877	26.66
7	241540	4087329	24.46	37	251037	4087095	17.26
8	237655	4080874	16.98	38	250605	4086741	11.05
9	240602	4085695	30.85	39	252550	4089379	17.27
10	238129	4082635	33.20	40	252406	4088718	41.49
11	241572	4084908	16.65	41	253334	4088828	20.36
12	241426	4086261	16.66	42	252996	4088404	7.02
13	241296	4086464	9.74	43	250681	4088560	9.09
14	238248	4083259	14.37	44	259972	4090858	16.92
15	238041	4081694	15.29	45	261416	4091229	11.14
16	243958	4084274	11.49	46	261869	4091572	17.27
17	244666	4084878	18.46	47	252251	4092265	15.60
18	243177	4088410	20.35	48	253352	4093224	13.75
19	244244	4088461	17.27	49	254636	4093219	14.36
20	245125	4088421	14.90	50	255909	4093176	17.11
21	243040	4089610	15.74	51	251484	4090629	7.88
22	244565	4089647	17.27	52	252297	4090895	15.14
23	245243	4086287	11.49	53	245568	4093491	25.23
24	249172	4085573	6.63	54	246710	4092306	15.94
25	245776	4086897	6.32	55	246684	4091076	12.53
26	246528	4086244	12.34	56	247243	4091844	7.02
27	246989	4085367	14.90	57	248012	4093084	17.30
28	246953	4084793	10.18	58	249263	4092400	22.75
29	245645	4084157	16.95	59	249913	4090910	18.88
30	245002	4084062	31.20		میانگین Average		16.69

پراکندگی نقاط موجود در رابطه دو متغیر مستقل (EIQ-FUR) و متغیر وابسته (عملکرد دانه) در شکل ۴ نشان‌دهنده همبستگی ضعیف بین این دو متغیر می‌باشد. همان‌طور که ضریب تعیین (R^2) نزدیک به صفر در این رابطه گویای عدم تناسب رابطه خطی و مستقیم بین این دو متغیر است. بدین معنا که افزایش مقدار مصرف یا تنوع در سموم شیمیایی مصرفی، سبب افزایش عملکرد گندم مزارع مورد بررسی نشده است. این نتایج می‌تواند بیانگر این حقیقت باشد که رسیدن به عملکرد پتانسیل مزارع، نیازمند مدیریت متغیرهای دیگر دخیل در تولید باشد. بنابراین، کاهش آسیب‌های شیمیایی از طریق کاربرد سموم کم خطر و مصرف مناسب آن‌ها و به تبع آن کاهش اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌ها و مدیریت مناسب زراعی می‌توان عملکرد اقتصادی مزارع را نیز بهبود بخشید. در بررسی رابطه EIQ-FUR و عملکرد چغندرقند در مکان نظام‌های مختلف کشت در استان‌های خراسان نشان داده شد که بین این دو رابطه‌ای وجود ندارد. این بدان معناست که افزایش استفاده از آفت‌کش‌ها در مزرعه به‌لحاظ تنوع سموم و هم از نظر مقدار کمّی ماده مؤثره، افزایش قابل ملاحظه‌ای در عملکرد چغندرقند نداشته است. بنابراین، امکان بهبود کارکرد زیست‌محیطی تولید چغندرقند با کاهش سموم شیمیایی همراه با حفظ یا افزایش عملکرد اقتصادی وجود دارد (Bazregar et al., 2013).



شکل ۳- پراکنش اثرات محیط زیستی آفت‌کش‌های مصرفی مزارع گندم در شهرستان بندر ترکمن

Fig. 3- Distribution of environmental effects of pesticides used on wheat fields in Bandar-e-Turkeman County



شکل ٤- رابطه EIQ-FUR با میزان عملکرد گندم (تن در هکتار) در مزارع گندم شهرستان بندرترکمن

Fig. 4- Relationship between EIQ-FUR and wheat yield (ton.ha^{-1}) in wheat fields of Bandar-e-Turkeman County

نتیجه‌گیری

بررسی داده‌های مدیریتی مزارع نشان داد که بیش‌ترین تمرکز کشاورزان گندم‌کار شهرستان بندرترکمن بر استفاده از علف‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها می‌باشد. بازدید و نمونه‌برداری از گیاهان هرز و حشرات مفید و آفت مزارع گندم مورد بررسی در شهرستان، نشان داد که هجوم حشرات آفت مانند سن گندم، ملخ، شته، تریپس و سوسک، نقش قابل توجهی در کاهش عملکرد محصول مزارع دارند، با این حال کشاورزان در مدیریت شیمیایی توجه کمتری به آن‌ها دارند. به نظر می‌رسد در رابطه با مدیریت حشرات آفت به کشاورزان آگاهی لازم داده نشده و کشاورزان تنها گیاهان هرز را به‌عنوان عامل محدودکننده عملکرد می‌دانند. برخی از کشاورزان به‌دلیل عدم کارایی سموم در کنترل گیاهان هرز، افزایش میزان مصرف در واحد هکتار را به‌عنوان راه حل دانسته و مقدار دز بالاتری از حد مجاز و استاندارد به کار می‌برند که این عامل نه تنها باعث افزایش عملکرد نمی‌شوند، بلکه تنها باعث افزایش هزینه‌ها و میزان اثر زیست‌محیطی می‌شود. همچنین، عدم کارایی سموم پس از یک دوره، کشاورز را به استفاده از انواع جدید سموم سوق می‌دهد که این می‌تواند یک راه مؤثر در کاهش احتمال بروز مقاومت در حشرات آفت و گیاهان هرز باشد. با این حال، در صورت تعلق این سموم جدید به گروه سموم پرخطر مانند کاربندازیم، استفاده از این سموم عواقب جدی به همراه خواهد داشت. لازم است به‌منظور افزایش سلامت محصولات کشاورزی و حفظ سلامت انسان و محیط زیست، اطلاع‌رسانی به کشاورزان در جهت معرفی میزان سمیت سموم کشاورزی و عواقب آن برای انسان و محیط زیست صورت گیرد.

از طرفی، مشکل جدی در کشور کاربرد بی‌رویه و بدون برنامه‌ریزی و عدم مدیریت صحیح مصرف سموم است. با به‌کارگیری تناوب در مصرف آفت‌کش‌ها، رعایت تناوب زراعی، به‌کارگیری آفت‌کش‌های بیولوژیک (زیستی) با توجه به شرایط بومی و اقلیمی هر منطقه، می‌توان نسبت به بهینه‌سازی مصرف آفت‌کش‌ها اقدام نمود. استفاده از ارقام مقاوم به آفات، اصلاح ساختار مصرف سموم شیمیایی و حذف سموم پر خطر از فهرست سموم مصرفی، اجرای عملیات مبارزه زراعی زمستانه، حذف علف‌های هرز، خاکورزی و زهکشی مناسب، راه‌های دیگر کاهش مصرف آفت‌کش‌ها و نیز کاهش هزینه‌های زیست‌محیطی تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. به‌علاوه، در میان سه جزء تشکیل‌دهنده شاخص EIQ شامل خطر برای کارگر مزرعه، مصرف‌کننده و بوم‌شناسی، مقادیر عددی این سه جزء می‌تواند بسته به مکان متفاوت باشند. مقادیر فعلی این شاخص، تفاوت‌ها در فناوری کاربرد یا استفاده از تجهیزات حفاظت فردی را در نظر نمی‌گیرد. از این رو، انتظار می‌رود که خطرات برای کارگران مزرعه (و خانواده‌های آن‌ها) در کشورهای در حال توسعه بیش‌تر از کشورهای صنعتی باشد. زیرا در کشورهایی با درآمد پایین و متوسط، تفکیک فعالیت‌های کشاورزی و زندگی خانواده‌ها، کم‌تر مشخص است، بنابراین بیش‌تر در معرض آفت‌کش‌ها قرار می‌گیرند (Kromann et al., 2011). به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که مدل EIQ نیازمند تغییراتی در جهت بومی‌سازی با مناطق مورد مطالعه است از جمله لحاظ نمودن تعداد کارگران مزرعه، مشخص‌سازی نوع ادوات و تجهیزات مورد استفاده و تفکیک نوع کشورهای توسعه یافته یا در حال توسعه.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، کشاورزان گندم‌کار و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان بندر ترکمن به‌جهت همکاری در اجرای این پژوهش قدردانی به عمل می‌آید.

References

1. Alame, Z., Shahriari Rad, A., Soltani, A., & Zeinali, A., (2013). Environmental evaluation of pesticides used in wheat, rapeseed, soybean, and cotton in Gorgan. The 1st National Conference on Solutions to Access Sustainable Development in Agriculture, Natural Resource and Environment. 10 March. Tehran, Iran. (In Persian)
2. Arefi, R., Soltani, A., & Ajam Norozi, H., (2019). Assessment of environmental impact of agricultural pesticides using in cotton fields (*Gossypium herbaceum* L.) in Golestan province. *Journal of Agronomy, 10*(4), 1135-1148. (In Persian) DOI: 10.22067/JAG.V10I4.61847
3. Bazrgar, A.B., Soltani, A., Koocheki, A., Zeinali, A., & Ghaemi, A., (2013). Evaluation of environmental effects of pesticides used in different sugar beet production systems in Khorasan provinces. *Journal of Agroecology, 5*(2), 122-133. (In Persian) DOI: 10.22067/JAG.V7I1.48270

4. Bulut, S., Erdogus, S.F., Konuk, M., & Cemek, M., (2010). The organochlorine pesticide residues in the drinking waters of Afyonkarahisar, Turkey. *Ekoloji Dergisi*, *19*(74), 24–31. DOI:10.5072/ZENODO.37106
5. Cross, P., & Edwards-Jones, G., (2011). Variation in pesticide hazard from arable crop production in Great Britain from 1992 to 2008: An extended time-series analysis. *Crop Protection*, *30*, 1579-1585. DOI: 10.1016/j.cropro.2011.08.003
6. Feola, G., Rahn, E., & Binder, C.R., (2011). Suitability of pesticide risk indicators for less developed countries: A comparison. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *142*, 238–245. DOI: 10.1016/j.agee.2011.05.014
7. Hassani, S., Ramroodi, M., Asghripour, M.R., & Ahamadi, E., (2020). The main differences of irrigated and rainfed barley (*Hordeum vulgar* L.) in terms of pollutants emissions in Khorramabad using LCA. *Journal of Agroecology*, *11*(4), 1467-1481. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22067/jag.v11i4.72652
8. Heidari, A., Tabrizian, M., Ramezani, M.K., Mahdavi, V., Heidari Alizadeh, B., & Faravardeh, L., (2015). Introduction, registration, formulation, techniques of application of chemical pesticides, production of pheromones, and research in the field of pesticides and determination of their allowable limit (MRLs) in agricultural products. Iranian Plant Protection Research Institute. 27 pages. (In Persian)
9. Kim, K-H., Kabir, S., & Ara Jahan, S., (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, *575*, 525–535. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.009
10. Kniss, A.R., & Coburn, C.W., (2015). Quantitative evaluation of the environmental impact quotient (EIQ) for comparing herbicides. *Plos One*, *10*(6), e0131200. DOI: 10.1371/journal.pone.0131200.
11. Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., & Tette, J., (1992). A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Sciences Bulletin*, *139*, 1-8.
12. Kromann, P., Pradel, W., Cole, D., Taipe, A., & Forbes, G., (2011). Use of the environmental impact quotient to estimate health and environmental impacts of pesticide usage in Peruvian and Ecuadorian potato production. *Journal of Environmental Protection*, *2*, 581-591. DOI:10.4236/jep.2011.25067
13. Maleki, L., Sadr Abadi Haghighi, H.R., & Barzegar, A.B., (2015). Evaluation of environment impact quotient (EIQ) pesticides used in wheat and barley production in Mashhad. *Journal Agronomy*, *7*(1), 109-119. (In Persian) DOI: 10.22067/JAG.V7I1.48270
14. Masoumkhani, F., Abolhassani, L., Khorramdel, S., & Mohaddes Hosseini, S.A., (2019). Evaluation of environmental impacts of major agricultural products of Belherat rural district of Neyshabour using life cycle assessment. *Journal of Agroecology*, *11*(3), 924-909. DOI: 10.22067/jag.v11i3.72459 (In Persian with English Summary)
15. Moeinodini, S., Zand, E., Kambuziya, J., Mahdavi Damghani, A.M., & Deyhimfard, R., (2014). Environmental risk assessment of registered insecticide uses in Iran Using EIQ. *Journal of Agroecology*, *2*(6), 250-256. (In Persian) DOI: 10.22067/JAG.V6I2.39367.
16. NYSIPMA., (2020). A method to measure the environmental impact of pesticides, Table 2: List of Pesticides. Last Updated May 2020. https://nysipm.cornell.edu/eiq/
17. Ramezani, M.K., (2013). Fate of pesticides & their risks assessment in the environment: A review. *Journal of Weeds Research*, *5*(1), 97-121. (In Persian)
18. Schreinemachers, P., Sringarm, S., & Sirijinda, A., (2011). The role of synthetic pesticides in the intensification of highland agriculture in Thailand. *Crop Protection*, *30*, 1430-1437. DOI: 10.1016/j.cropro.2011.07.011
19. Schreinemachers, P., & Tipraqsa, P., (2012). Agricultural pesticides and land use intensification in high, middle, and low income countries. *Food Policy*, *37*, 616–626. DOI: 10.1016/j.foodpol.2012.06.003
20. Székács, A., MáriaMörtl, M., & Darvas, B., (2015). Monitoring pesticide residues in surface and groundwater in Hungary: surveys in 1990–2015. *Journal of Chemistry*, *717948*. DOI: 10.1155/2015/717948.
21. Tomlin, C.D.S., (2009). The Pesticide Manual: A World Compendium. British Crop Protection Council, 11th revised Ed., Alton, UK.
22. Wan, N., (2015). Pesticides exposure modeling based on GIS and remote sensing land use data. *Applied Geography*. *56*, 99-106. DOI: 10.1016/j.apgeog.2014.11.012
23. White, L.M., Ernst, W.R., Julien, G., Garron, C., & Leger, M., (2006). Ambient air concentrations of pesticides used in potato cultivation in Prince Edward Island, Canada. *Pest Management Science*, *62*(2), 126–136. DOI: 10.1002/ps.1130
24. Yadav, I.C., Devi, N.L., Syed, J.H., Cheng, Z., Li, J., Zhang, G., & Jones, K.C., (2015). Current status of

persistent organic pesticides residues in air, water, and soil, and their possible effect on neighboring countries: A comprehensive review of India. *Science of the Total Environment, 511*, 123–137. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.12.041

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

Research Article
Vol. 15, No. 4, 2024, p. 825-842

Simulation of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Root Yield and Water Productivity in Response to Different Sowing Date and Irrigation Treatments Using SUCROS Model

Esmaeil Mohammadi-Ahmadmahmoudi[1] and Sajjad Rahimi-Moghaddam[2*]

1- Ph.D. Graduated Student, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
(*- Corresponding author Email: rahimi.s@lu.ac.ir)

Received: 03-05-2022
Revised: 08-10-2022
Accepted: 22-10-2022
Available Online: 25-01-2021

How to cite this article:
Mohammadi-Ahmadmahmoudi, E., & Rahimi-Moghaddam, S. (2024). Simulation of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) root yield and water productivity in response to different sowing date and irrigation treatments using SUCROS model. *Journal of Agroecology*, *15*(4), 825-842.
DOI: 10.22067/agry.2022.76485.1108

Introduction:

Water is considered one of the main factors driving agricultural activities. It is predicted that more than 67% of the world's population will suffer from water shortages in their habitats by 2050. Therefore, maximizing water efficiency is the best solution to the problem. Water productivity is important in evaluating the efficiency of irrigated and rainfed systems. Sugar beet is one of the strategic crops in Iran and its area under cultivation has decreased in the last two decades, especially in Khorasan Razavi Province. The high water requirement of sugar beet and the problem of water shortage during spring and summer are the most important reasons for the decrease in the area under cultivation of this crop. Given the crisis in water supply for crop production, increasing water productivity in irrigated agroecosystems can be considered a suitable strategy to increase the area under cultivation and yield of crops. In recent years, different studies have been conducted to increase the water productivity of different crops using simulation models.

Materials and Methods:

In this study, root yield and water productivity of sugar beet were evaluated in response to three different sowing date treatments (20 February, 21 March, and 21 April) and four irrigation interval treatments (10 days, 12 days, 14 days, and treatment with the model according to the crop water demand) in Neyshabur, Sabzevar, Quchan, and Torbat Jam locations. For this purpose, the SUCROS simulation model and long-term meteorological data were used to estimate the growth and production of sugar beet. In addition, the trend of sugar beet daily water demand and changes in soil water in different treatments during the growing season was extracted and analyzed.

Results and Discussion:

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https:// DOI: 10.22067/agry.2022.76485.1108

The results showed that the highest yield of sugar beet (63.80 $t.ha^{-1}$) was obtained in Sabzevar by sowing on 20 February and irrigation with ten days intervals, while in Torbat Jam, Neyshabur, and Quchan, the maximum root yield (66.44, 109.38 and 112.15 $t.ha^{-1}$, respectively) was achieved by sowing on 20 February and irrigation based on crop water demand. In contrast, sowing sugar beet on 21 April with 14 days of irrigation intervals in all studied locations resulted in the lowest yield among treatments. Water productivity comparison in different locations showed that in Sabzevar, Torbat Jam, and Neyshabur, the treatment of the 20 February sowing date and irrigation based on crop water demand resulted in maximum water productivity (4.08, 4.52, and 8.10 $kg.m^{-3}$, respectively) and in Quchan, the treatment of 20 February sowing date and 14 days irrigation interval with 7.70 $kg\ m^{-3}$ led to the maximum water productivity. The results also indicated that in Sabzevar, the lowest water productivity was obtained by sowing sugar beet on 21 April and irrigation with 14 days intervals, and in Torbat Jam, Neyshabur, and Quchan, the minimum water productivity was simulated by sowing date of 21 April and ten days irrigation intervals. Evaluation of the relationship between the length of growth season (as a criterion of sowing date) with sugar beet yield and water productivity in all locations showed that there were significant relationships among these variables and the length of growth season at 1% probability level, which indicated the importance of early cultivation in increasing the sugar beet production and water productivity in Razavi Khorasan Province.

Conclusion:

The findings of this study suggest that modifying the sowing date, in comparison to adjusting irrigation intervals, may have a more significant impact on enhancing sugar beet yield and water productivity. Additionally, in warmer locations like Sabzevar and Torbat Jam, exploring alternative options such as autumn sugar beet cultivation is advisable. In light of the constraints posed by limited water resources, it is recommended that researchers prioritize investigations into water productivity rather than solely focusing on maximizing crop yield**.**

Acknowledgments:

The authors are grateful to Dr. Reza Deihimfard from Shahid Beheshti University, Iran, for providing valuable comments and advice on methodology.

Keywords: Crop water requirement, Irrigation intervals, Khorasan Razavi Province, Modelling

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ۸٤۲-۸۲۵

شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب در چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) بهاره در پاسخ به تیمارهای تاریخ کشت و آبیاری با استفاده از مدل SUCROS

اسماعیل محمدی احمدمحمودی[۱] و سجاد رحیمی مقدم[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰

چکیده

پژوهش حاضر، عملکرد ریشه و بهره‌وری آب گیاه چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در پاسخ به تیمارهای تاریخ کشت (یک اسفند، یک فروردین و یک اردیبهشت) و دور آبیاری (۱۰ روز، ۱۲ روز، ۱۴ روز و همچنین یک تیمار دور آبیاری با توجه به نیاز آبی محصول در طول فصل رشد در شرایط عدم محدودیت آبی) در شهرستان‌های نیشابور، قوچان، تربت جام و سبزوار را ارزیابی کرد. از مدل SUCROS و داده‌های بلندمدت هواشناسی جهت برآورد رشد و نمو و عملکرد استفاده شد. روند تغییرات نیاز روزانه گیاه و همچنین تغییرات آب خاک در تیمارهای مختلف در طول فصل رشد استخراج شدند و مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج به‌دست آمده نشان داد، بیشترین عملکرد چغندرقند (۶۳/۸۰ تن در هکتار) در شهرستان سبزوار با کشت این محصول در ابتدای اسفند و آبیاری آن با فاصله زمانی ۱۰ روزه صورت گرفت، درحالی‌که در شهرستان‌های تربت جام، نیشابور و قوچان بیشترین عملکرد ریشه (به‌ترتیب ۶۶/۴۴، ۱۰۹/۳۸ و ۱۱۲/۱۵ تن در هکتار) با کشت در یک اسفند و تیمار آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه زراعی حاصل می‌گردد. به‌طور کلی، تغییر تاریخ کشت در مقایسه با تغییر دور آبیاری می‌تواند تأثیر بیشتری در تولید و بهره‌وری آب چغندرقند داشته باشد. علاوه‌براین، در مناطق گرم‌تر مانند سبزوار و تربت جام بهتر است راهکارهای دیگر مانند کشت پاییزه چغندرقند نیز ارزیابی گردد. همچنین با توجه به محدودیت منابع آبی، توصیه می‌شود که پژوهشگران تمرکز بیشتری بر روی افزایش بهره‌وری آب در کنار بهبود عملکرد گیاه زراعی در مقایسه با شرایط موجود در مزارع داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: استان خراسان رضوی، دور آبیاری، مدل‌سازی، نیاز آبی محصول

۱- دانش‌آموخته دکتری گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، ایران.
۲- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: rahimi.s@lu.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2022.76485.1108

مقدمه

یکی از چالش‌های جهانی در ارتباط با کشت فاریاب محصولات کشاورزی، تولید عملکرد و زیست‌توده بیشتر و همچنین مصرف آب کمتر است (Jabro et al., 2014). اهمیت آب به‌گونه‌ای است که به عنوان عامل و محرک اصلی فعالیت‌های کشاورزی به‌شمار می‌رود (Tabiei & Baradaran, 2014). بر اساس آمارهای منتشر شده، در حال حاضر حدود یک سوم مردم دنیا با کم آبی مواجه هستند که تا سال ۲۰۲۵ میلادی این آمار به بیش از دو سوم خواهد رسید (Pakmehr et al., 2021). بنابراین، برای حل این مشکل حداکثرسازی بهره‌وری مصرف آب بهترین راه‌حل می‌باشد. بهره‌وری آب عاملی مهم در ارزیابی کارایی سامانه‌های کشت آبی و دیم است (Jabro et al., 2014).

گیاه چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) یکی از گیاهان استراتژیک و از مهم‌ترین گیاهان صنعتی در ایران است که به‌واسطه فصل رشد طولانی، مصرف آب بسیار بالایی دارد (Sadrghein, 2012)، به طوری‌که بسته به منطقه، اقلیم و عوامل دیگر، مقدار تبخیر و تعرق واقعی آن در طول فصل رشد بین ۵۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌متر متغیر است (Fabeiro et al., 2003; Jabro et al., 2012Dunham, 1993;). استان خراسان رضوی یکی از اصلی‌ترین قطب‌های تولید چغندرقند در کشور است که با توجه به بحران آب در این استان، سهم این استان در تولید چغندرقند کشور در سالیان اخیر کاهش یافته است. با این‌حال، این استان در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ جایگاه دوم تولید چغندرقند در کشور را داشته است، به‌شکلی که در این سال سطح زیرکشت این محصول در استان خراسان رضوی معادل ۲۰۵۸۹ هکتار بوده و از این سطح از اراضی معادل ۹۱۵۹۵۸ تن چغندرقند برداشت شده است که به‌ترتیب نزدیک به ۱۸ و ۱۵ درصد از سطح زیرکشت و تولید چغندرقند کشور را شامل می‌گردد (Anonymous, 2022). با توجه به اهمیت تولید این محصول در کشور و نیاز آبی بالای آن، بازبینی در مدیریت عملیات زراعی در جهت بهبود عملکرد و ارتقای بهره‌وری آب این محصول امری ضروری و انکارناپذیر است (Jovzi & Zare Abyaneh, Heydari Pour et al., 2014; 2016; Haghayeghi et al., 2015; Deihimfard & Rahimi-Moghaddam, 2015).

در سالیان اخیر، مدل‌های شبیه‌سازی رشد محصولات زراعی در مطالعات و تحقیقات علمی جایگاه ویژه‌ای پیدا کردند. استفاده از این مدل‌های شبیه‌سازی در صورتی که به‌خوبی اعتبارسنجی شده باشند و استفاده از اطلاعات بلندمدت هواشناسی در هر منطقه می‌تواند یک ابزار کاربردی در این زمینه باشد (Rahimi-Moghaddam et al., 20182021; Amiri,). با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در این مدل‌ها و قابل اعتماد بودن نتایج آن‌ها، امروزه این مدل‌ها جایگاه درخوری در تجزیه و تحلیل سامانه‌های کشت گیاهان زراعی و واکنش این گیاهان به عوامل مدیریتی و محیط‌های مختلف پیدا کرده‌اند (Emdad & Tafteh, 2017; Pawar et al., 2017; Chenu et al., 2013; Amiri et al., 2016).

با به‌کارگیری مدل شبیه‌سازی CERES-Maize مطالعه‌ای بر روی بهینه‌سازی تاریخ کشت و راهکارهای آبیاری گیاه ذرت (*Zea mays* L.) به‌منظور افزایش عملکرد این محصول در چین انجام شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد، کشت در بازه زمانی ۱۴ الی ۲۴ ژوئن و همچنین انجام دو مرحله آبیاری در مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه به مقدار ۱۰۰ میلی‌متر در هر مرحله منجر به عملکرد و بهره‌وری آبی مطلوب در این گیاه گردد (Saddique et al., 2019). واکنش گیاه گندم پاییزه (*Triticum aestivum* L.) به مدیریت‌های مختلف آبیاری با استفاده از مدل شبیه‌سازی CERES-Wheat بررسی و گزارش شد که انجام دو مرتبه آبیاری در مراحل طویل شدن ساقه و گرده‌افشانی با حجم ۷۵ میلی‌متر منجر به بیشترین عملکرد دانه و کارایی مصرف آب می‌شود (Zhou et al., 2018). مطالعه‌ای با هدف تعیین بهترین تاریخ کشت به‌منظور افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب در سامانه‌های کشت نخود دیم (*Cicer arientinum* L.) در استان کرمانشاه و با استفاده از مدل شبیه‌سازی SSM-Chichpea انجام شد و نتایج این پژوهش نشان داد، کشت در اول اسفند (زودترین تاریخ کاشت) منجر به دست‌یابی به بیشترین عملکرد، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب شده، به‌طوری‌که تأخیر در کاشت می‌تواند تا ۶۴ درصد منجر به نقصان در عملکرد این محصول گردد. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد، کشت در زودترین تاریخ ممکن منجر به افزایش طول دوره رشد گیاه، همزمانی بارندگی بیشتر با فصل رشد محصول و عدم تقارن دوره رشد زایشی محصول با دماهای بالا و تنش‌های خشکی انتهای فصل می‌گردد (Amiri, 2018). از مدل شبیه‌سازی AquaCrop جهت بررسی تأثیر تاریخ

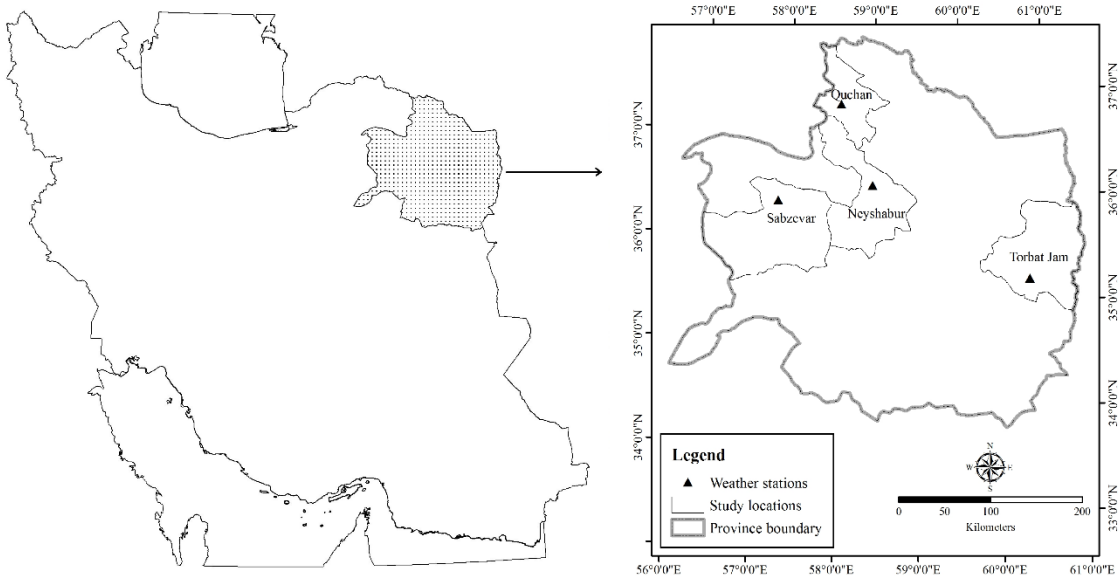
کاشت و آبیاری تکمیلی بر میزان عملکرد عدس بهاره دیم در دشت قزوین استفاده شد. بدین منظور، شش تاریخ کاشت مختلف در بازه زمانی متداول کشت عدس (*Lens culinaris* Medik.) و هشت تاریخ پیشنهادی مدل استفاده شد و همچنین دو تاریخ برای انجام آبیاری تکمیلی پیشنهاد شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد، کاشت در بازه زمانی اواسط بهمن ماه تا اواسط اسفند ماه و همچنین، انجام یک آبیاری تکمیلی در ۵۵ الی ۶۵ روز پس از کاشت و مصادف با مرحله گل‌دهی گیاه زراعی منجر به بیشترین عملکرد ممکن می‌گردد. با توجه به نتایج این پژوهش، انجام یک مرحله آبیاری تکمیلی در تاریخ مناسب می‌تواند تا ۹۰ درصد عملکرد این محصول را درشرایط دیم افزایش دهد (Kamali et al., 2016). در یک مطالعه شبیه‌سازی دیگر، مدل APSIM به‌منظور بررسی برهم‌کنش مدیریت × ژنتیک × محیط بر کارایی مصرف آب ذرت در استان خوزستان به‌کار برده شد و نتایج نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب (۸/۱ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر) در برهم‌کنش رقم هشت بار آبیاری در طول فصل رشد × رقم دیررس × فصل کشت تابستانه به‌دست آمد (Rahimi-Moghaddam et al., 2019).

در این راستا، با توجه به جایگاه گیاه چغندرقند در استان خراسان رضوی و محدودیت در تأمین آب مورد نیاز کشت بهاره این محصول، در این پژوهش سعی گردید، با استفاده از مدل شبیه‌سازی SUCROS واکنش گیاه زراعی چغندرقند به فواصل مختلف آبیاری و تاریخ کشت‌های مختلف با توجه به مدیریت‌های متداول در چهار شهرستان در استان خراسان رضوی بررسی شده و مطلوب‌ترین دور آبیاری و تاریخ کشت برای این محصول شناسایی گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

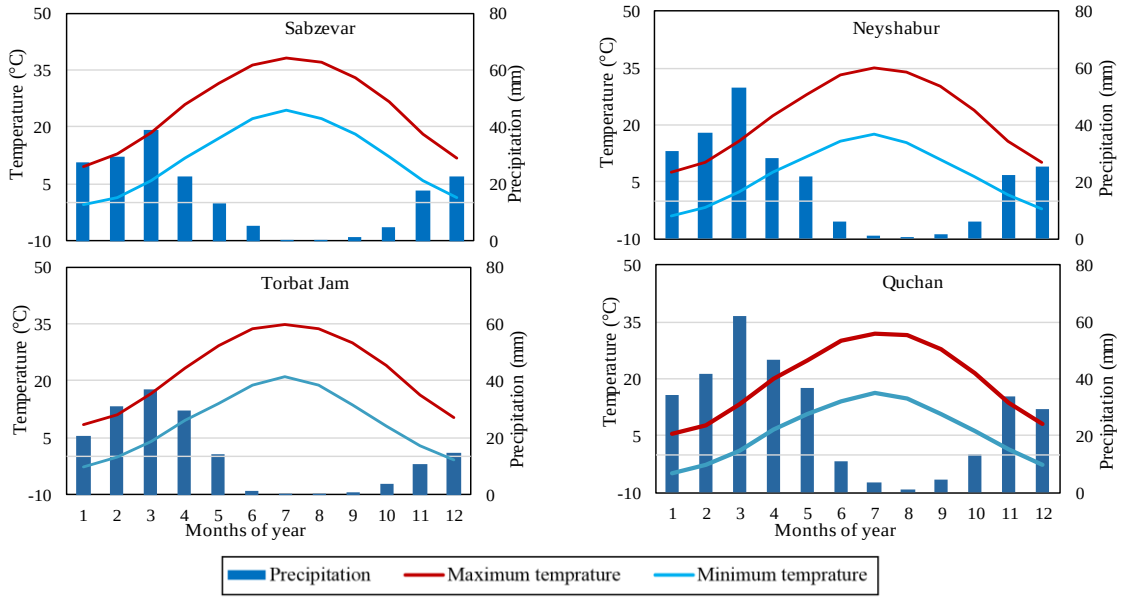
پژوهش حاضر به‌منظور بررسی واکنش گیاه چغندرقند به تاریخ‌های کشت و دورهای آبیاری مختلف در قالب آزمایش شبیه سازی بلندمدت در چهار شهرستان نیشابور (ارتفاع ۱۲۱۳ متر از سطح دریا)، سبزوار (ارتفاع ۹۷۲ متر از سطح دریا)، قوچان (ارتفاع ۱۲۸۷ متر از سطح دریا) و تربت جام (ارتفاع ۹۵۰ متر از سطح دریا) در استان خراسان رضوی انجام شد. با توجه به اینکه استان خراسان رضوی از دیرباز یکی از قطب‌های تولید چغندرقند بوده است و با توجه به تنوع اقلیمی این استان، سعی شد انتخاب شهرستان‌ها به‌شکلی باشد که در برگیرنده تنوع اقلیمی این استان باشد. موقعیت جغرافیایی و پراکنش شهرستان‌های مورد مطالعه در استان خراسان در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی آن‌ها در استان خراسان رضوی و ایران

Fig. 1- Geographic position of the studied locations and their weather stations in Khorasan Razavi province and the position of the studied province on the Iran map

بخش اعظمی از استان خراسان رضوی (همه مناطق استان به‌جز بخش‌های کوچکی از شمال استان) در محدوده اقلیمی خشک و نیمه خشک قرار دارد. در استان خراسان رضوی، بارندگی‌ها بیشتر در فصول سرد سال بوده و بارش در فصل تابستان به‌ندرت اتفاق می‌افتد. میانگین بلندمدت متوسط ماهیانه دماهای بیشینه، کمینه و مقدار بارندگی ماهانه مناطق مورد بررسی در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲- میانگین بلندمدت (۱۳۹۳- ۱۳۷۰) ماهیانه دماهای بیشینه، کمینه و مجموع بارندگی ماهیانه شهرستان‌های مورد مطالعه

Fig. 2- Long-term monthly maximum and minimum temperatures and cumulative precipitation in the studied locations averaged from 1992 to 2015

مدل شبیه‌سازی مورد استفاده و آزمایش‌های شبیه‌سازی

به‌منظور شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه چغندرقند در این مطالعه از مدل شبیه‌سازی SUCROS (A Simple & Universal Crop growth Simulator) استفاده شد. این مدل در ابتدا برای شبیه‌سازی گیاه گندم بهاره (van Laar et al., 1997) ارائه شد و بعد از آن با استفاده از چندین آزمایش مزرعه‌ای برای شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه چغندرقند پارامترسازی و اعتبارسنجی شد (Deihimfard, 2011). این مدل همچنین با استفاده از داده‌های پنج آزمایش مزرعه‌ای مستقل برای شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه چغندرقند در سطوح مختلف تولید اعتبارسنجی گردید (Deihimfard et al., 2019). علاوه‌براین، دقت مدل استفاده شده در این پژوهش با استفاده از مجموعه‌ای از آزمایش‌های مزرعه‌ای مستقل در مناطق مختلف از جمله مشهد، همدان، کرج و کرمانشاه و سال‌های مختلف برگرفته از پژوهش‌های کاملاً مستقل (Soleymani et al., Heydari Pour et al., 2015 ; 2003; Abdolahian Noghabi et al., 2011; Karimi and Naderi, 2008; Vafadar et al., 2008; Jalilian et al., 2001; Mirzaei & Rezvani, 2012) با بررسی ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، مقدار کارایی مدل (EF) (معادلات ۱-۳) و خط یک به یک حاصل از شبیه‌سازی مقادیر عملکرد این مطالعات و همچنین بررسی پراکنش خطای باقی‌مانده حاصل از شبیه‌سازی‌ها (Wallach et al., 2014) مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$RRMSE\,(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - S_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}}$$

معادله (۱)

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}|O_i - S_i|$$

معادله (۲)

$$EF = 1 - \frac{\sum_{1}^{n}(O_i - S_i)^2}{\sum_{1}^{n}(O_i - \bar{O})^2}$$

معادله (۳)

که در آن، O: بیانگر مقادیر مشاهده شده، S: نشان‌دهنده مقادیر شبیه‌سازی شده، $\bar{O}$: نیز نشان‌دهنده میانگین کلی مقادیر مشاهده شده و n: بیانگر تعداد کل مشاهدات می‌باشد، که مقادیر کمتر RRMSE و MAE نشان‌دهنده دقت بیشتر مدل می‌باشد. مقدار EF نیز بین ۱-∞ بوده که ۱: نشان‌دهنده کارایی بالا و ۰: بیان‌گر عدم کارایی مدل است. در این مدل، سرعت روزانه فتوسنتز کانوپی بر اساس مقدار تشعشع دریافتی و رابطه بین فتوسنتز تک برگ و شدت نور دریافت شده و انتگرال‌گیری بر حسب شاخص سطح برگ و طول روز برآورد می‌شود (Spitters et al., 1989). سرعت تجمع ماده خشک با توجه به سرعت فتوسنتز کانوپی و با کسر تنفس‌های رشد و نگهداری محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه رشد گیاه چغندرقند در سال اول به‌صورت رویشی می‌باشد و تغییرات فنولوژیک این گیاه در سال اول تنها تحت تأثیر دمای هوا می‌باشد، بنابراین در این مدل از مقادیر زمان حرارتی مورد نیاز (Thermal time requirements) جهت کمّی‌سازی نموی فنولوژیک گیاه استفاده می‌گردد. از این‌رو، میزان زمان حرارتی مورد نیاز گیاه چغندرقند از کاشت تا رسیدگی برداشت معادل ۲۷۰۰ درجه روز در نظر گرفته شد (Ebrahimipak et al., 2005& Ghalebi, 2014)؛ و مراحل نموی فنولوژیک که بین ۰ (کاشت) تا ۲ (رسیدگی) قرار دارند، بر اساس زمان حرارتی تجمع یافته برای هر مرحله تعیین شدند. بیلان آب که شامل فرآیندهای تبخیر- تعرق، زهکشی، رواناب و جذب آب توسط ریشه‌ها است نیز جهت استفاده از مدل در شرایط مختلف رطوبتی به مدل اضافه شده است. در این مدل، به‌منظور برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل از معادله ترکیبی پنمن- مونتیث استفاده می‌شود که تأثیر محدودیت آب بر فرآیندهای رشد محصول با توجه به نسبت بین تبخیر- تعرق واقعی به تبخیر- تعرق پتانسیل به‌صورت روزانه کمّی‌سازی می‌شود. اطلاعات بیشتر در رابطه با این مدل توسط فن لار و همکاران (van Laar et al., 1997) ارائه شده است.

آزمایش‌های شبیه‌سازی در این مطالعه با استفاده از مدل SUCROS و اطلاعات بلندمدت اقلیمی شهرستان‌های مورد مطالعه (دوره آماری ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۵) اجرا شد که تیمارهای این مطالعه شامل سه تاریخ کشت (یک اسفند: ۲۰ فوریه، یک اردیبهشت: ۲۱ مارس و یک خرداد: ۲۱ آوریل) و چهار دور آبیاری (۱۰ روز، ۱۲ روز، ۱۴ روز و یک تیمار دور آبیاری بر اساس نیاز رطوبتی گیاه در طول فصل رشد) بود. مقدار حجم آبیاری در تمام تیمارها یکسان و معادل ۹۰ میلی‌متر در هر آبیاری لحاظ گردید. همان‌طور که گفته شد، علاوه‌بر سه تیمار دور آبیاری ۱۰ روز، ۱۲ روز و ۱۴ روز، یک تیمار دیگر بر اساس نیاز آبی گیاه زراعی در طول فصل رشد با استفاده از شبیه‌سازی‌های بلندمدت توسط مدل SUCROS در هر منطقه تعریف گردید که در این تیمار میزان نیاز آبی گیاه زراعی در شرایط عدم محدودیت آب به صورت روزانه برآورد شد و با رسیدن مقدار تجمعی نیاز آبی گیاه زراعی در روزهای متوالی به ۹۰ میلی‌متر پس از هر آبیاری، زمان فرا رسیدن آبیاری جدید تعیین گردید. انتخاب تیمارها بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از کشاورزان مناطق مورد مطالعه بود. به این ترتیب که با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از کشاورزان چغندرکار شهرستان‌های مورد بررسی، کشت چغندرقند در این مناطق توسط کشاورزان از اوایل اسفند ماه تا اوایل خرداد ماه صورت می‌گیرد و همچنین با توجه به وضعیت منابع آبی موجود و حق‌آبه مزارع، به‌طور معمول دور آبیاری مزارع بین ۱۰ الی ۱۴ روز می‌باشد. بنابراین، در این مطالعه سعی شد، تاریخ‌های کشت و تیمارهای آبیاری معمول برای هر شهرستان بررسی گردد و بهترین تیمار برای کشاورزان جهت استفاده بهتر از منابع با توجه به مقدار عملکرد ریشه و بهره‌وری آب (معادله ۴) نمایان گردد (Saini & Brar, 2018).

$$WP = \frac{fresh\ Root\ yield\ (Kg.ha^{-1})}{Water\ applied\ (m^3.ha^{-1})}$$

معادله (۴)

که در آن، WP: مقدار بهره‌وری آب است که حاصل نسبت بین عملکرد ریشه تر به مقدار آب به‌کار رفته (آبیاری و بارندگی) در مزرعه می‌باشد. علاوه‌براین، مقدار نیاز آبی گیاه در شرایط رشد پتانسیل در هر سه تاریخ کشت برای هر شهرستان و مقدار عرضه آب در هر تیمار آبیاری در طول فصل رشد بر اساس شبیه‌سازی‌های بلندمدت صورت گرفته محاسبه شد (معادلات ۵ و ۶) (Chauhan et al., 2017) و میزان انطباق عرضه آب و نیاز آبی محصول در طول فصل رشد بررسی شد.

معادله (۵)

$$Water\ supply = \sum(sw(layer) - ll(layer)) * kl(layer)$$

$$Water\ demand = \frac{\Delta\ DM \times VPD}{Transp_eff}$$

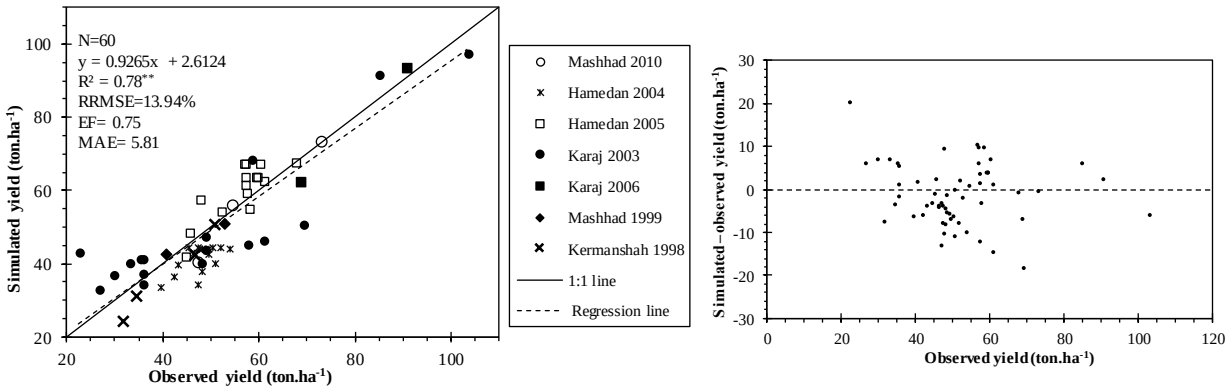
که در آن، sw: مقدار آب در لایه خاک مورد نظر (میلی‌متر)، ll: مقدار آب خاک در نقطه پژمردگی (میلی‌متر) و kl: سرعت استخراج آب از گیاه (به‌ازای هر روز) است. مقدار عرضه آب با توجه به میزان آب موجود در هر لایه از خاک زراعی که ریشه گیاه زراعی در آن

توسعه می‌یابد برآورد می‌شود. در معادله ۶، ΔDM: نشان‌دهنده تغییرات روزانه ماده خشک در شرایط پتانسیل (گرم ماده خشک تولیدی بر مترمربع به‌ازای هر روز)، Transp_eff: میزان کارایی تعرق (گرم ماده خشک تولیدی بر مترمربع بر میلی‌متر در کیلوپاسکال) و VPD: (کیلوپاسکال) نیز معیاری از وضعیت رطوبتی هوای کانوپی است که با کمک فشار بخار اشباع در دماهای بیشینه و کمینه محاسبه می‌گردد. در این مطالعه از نرم‌افزار آماری SAS و نرم‌افزار EXCEL برای مقایسه میانگین بین تیمارها و مدیریت داده‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی

نتایج بررسی دقت مدل شبیه‌سازی در برآورد عملکرد ریشه تر چغندرقند در مناطق و سال‌های مختلف نشان داد که مقدار ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی، میانگین خطای مطلق وکارایی مدل برای شبیه‌سازی عملکرد ریشه تر چغندرقند به‌ترتیب معادل ۱۳/۹۴ درصد، ۵/۸۱ و ۰/۷۵ بود که نشان‌دهنده دقت خوب و همچنین کارایی بالای مدل برای برآورد عملکرد ریشه تر چغندرقند بود (شکل A۳). بررسی پراکنش خطای باقی‌مانده شبیه‌سازی‌ها نیز نشان‌دهنده دقت یکنواخت مدل SUCROS در برآورد عملکرد ریشه تر چغندرقند در مقادیر مختلف عملکرد بود (شکل B۳)، به‌طوری‌که مقدار عملکردهای مشاهده شده بین ۲۲/۵ تا ۱۰۳/۴ تن در هکتار و همچنین مقدار عملکردهای شبیه‌سازی شده بین ۲۴/۱ تا ۹۷/۴ تن در هکتار تغییرات داشت.



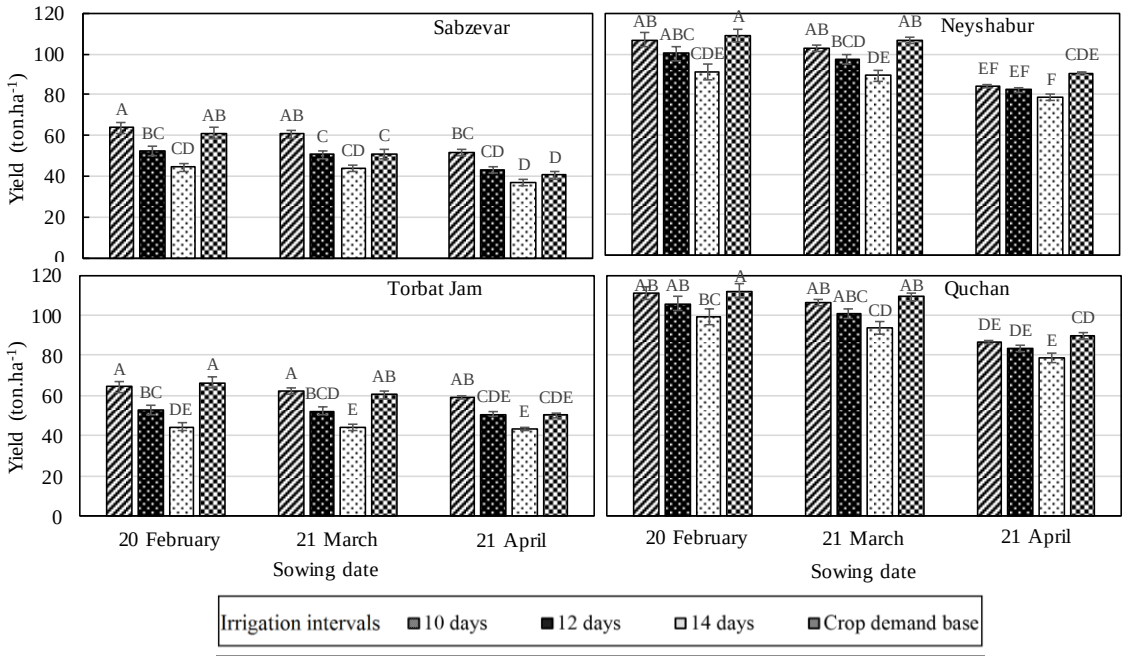
شکل ۳- مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده عملکرد ریشه تر چغندرقند در مناطق و سال‌های مختلف (الف) و پراکنش باقی‌مانده حاصل از برآورد عملکرد چغندقند با استفاده از مدل SUCROS

Fig. 3- Simulated and observed fresh root yield of sugar beet in different locations and years (A) and the distribution of the sugar beet yield prediction residual using SUCROS model (B)

واکنش عملکرد گیاه چغندرقند به تغییر تاریخ کشت و دور آبیاری‌ها

نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های بلندمدت و ارزیابی این خروجی‌ها بر اساس آزمون توکی در سطح آماری پنج درصد (شکل ۴) نشان داد، اثر تغییر تاریخ کشت و فواصل آبیاری بر عملکرد گیاه چغندرقند در شهرستان‌های مورد بررسی متفاوت بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد، در شهرستان سبزوار، کشت در تاریخ یک اسفند و دور آبیاری ۱۰ روز منجر به دست‌یابی به بیشترین عملکرد ریشه (۶۳/۸۰ تن در هکتار) شده و در مقابل، دور آبیاری ۱۴ روز و آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه در کشت یک اردیبهشت (دیرترین تاریخ کشت) منجر به کمترین عملکرد چغندرقند (به‌ترتیب ۳۶/۹۹ و ۴۰/۴۶ تن در هکتار) در مقایسه با سایر تیمارها گردید. نتایج شبیه‌سازی‌ها در شهرستان نیشابور نیز نشان داد، با کشت در زودترین تاریخ کشت ممکن (اوایل اسفند ماه) و آبیاری محصول با توجه به نیاز آبی گیاه در طول فصل رشد می‌توان به حداکثر عملکرد ریشه (۱۰۹/۳۸ تن در هکتار) دست یافت. درحالی‌که کشت دیرهنگام (کشت در ابتدای اردیبهشت ماه) و افزایش دور آبیاری‌ها (دور آبیاری ۱۴ روز) منجر به ثبت کمترین عملکرد ریشه در این شهرستان (۷۸/۲۲ تن در هکتار) در مقایسه با سایر تیمارها می‌گردد. نتایج به‌دست آمده از تیمارهای اعمال شده در

شهرستان تربت جام (شکل ۴) نشان داد، بیشترین عملکرد ریشه چغندرقند (۶۶/۴۴ تن در هکتار) در شرایطی به‌دست آمد که کشت محصول چغندرقند در زودترین تاریخ کشت (یک اسفند) انجام شده و دور آبیاری‌ها بر اساس نیاز آبی گیاه در طول فصل رشد انجام گیرد. هرچند نتایج مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف نشان داد، تیمارهای کشت در یک اسفند و یک فروردین با دور آبیاری ۱۰ روز به‌ترتیب با عملکرد ۶۴/۲۸ و ۶۲/۲۵ تن در هکتار از نظر آماری (آزمون توکی در سطح پنج درصد) با این تیمار (بهترین تیمار از نظر عملکرد ریشه) تفاوت معنی‌داری نداشتند. هم‌سو با سایر شهرستان‌ها، در شهرستان تربت جام نیز افزایش دور آبیاری‌ها منجر به کاهش عملکرد گردید، به‌شکلی که در تاریخ کشت یک اردیبهشت و یک فروردین و با آبیاری در فاصله زمانی ۱۴ روز، کمترین تولید در مقایسه با سایر تیمارها (به‌ترتیب با عملکردهای ۴۳/۱۶ و ۴۴/۱۴ تن در هکتار) حاصل شد. نتایج به‌دست آمده در شهرستان قوچان نیز نشان داد، کشت در تاریخ یک اسفند و انجام آبیاری‌ها بر اساس نیاز آبی گیاه در طول فصل رشد با ۱۱۲/۱۵ تن در هکتار، منجر به دست‌یابی به بیشترین عملکرد در بین تیمارهای این پژوهش گردید. همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، در این منطقه، کشت در ابتدای اردیبهشت ماه در مقایسه با دو تیمار تاریخ کشت دیگر، به‌شکل قابل ملاحظه‌ای منجر به کاهش عملکرد گردید، به‌شکلی که کشت در یک اردیبهشت و آبیاری با فاصله زمانی ۱۴ روز منجر به شکل‌گیری کمترین عملکرد (۷۸/۷۹ تن در هکتار) در بین تیمارهای اعمال شده گردید.



شکل ٤- مقایسه میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده بین تیمارهای مختلف در شهرستان‌های مورد مطالعه

Fig. 4- Mean comparison of simulated yield between different treatments in studied locations

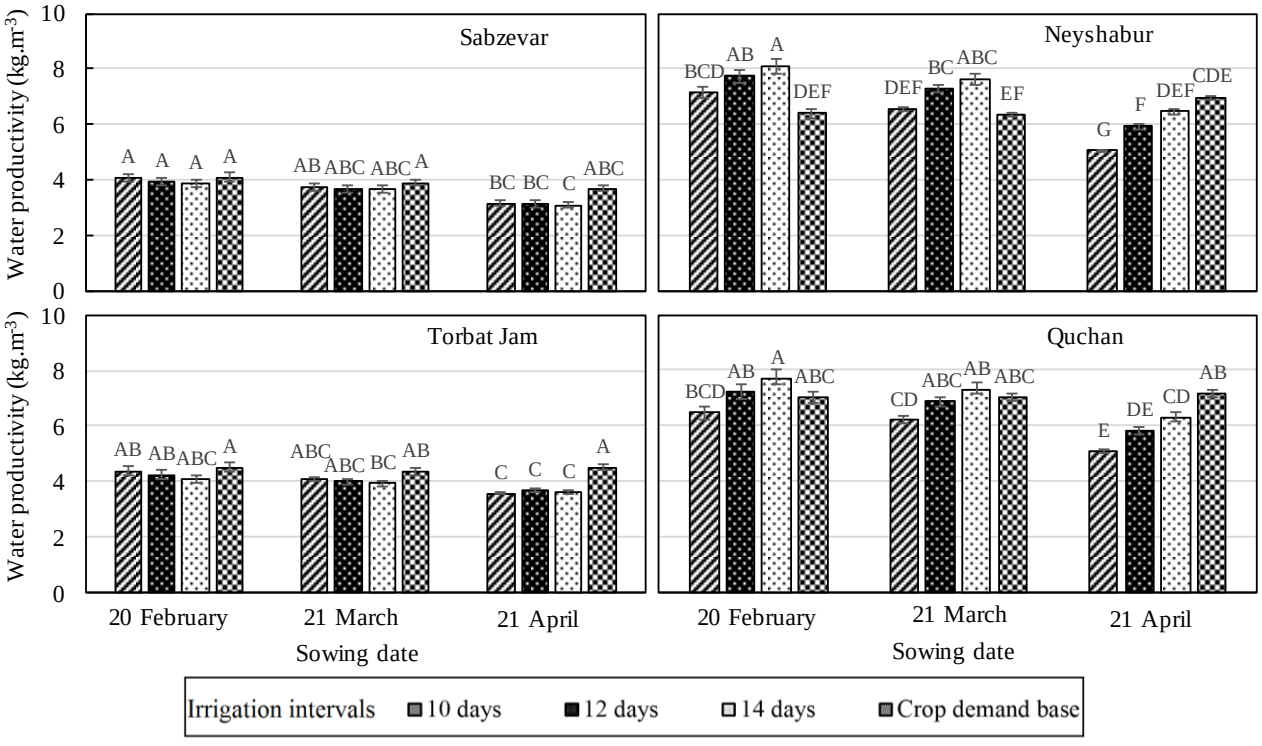
میانگین‌های با حروف غیرمشترک در هر نمودار در سطح آماری پنج درصد و بر اساس آزمون توکی معنی‌دار هستند.

The means with different letters in each column are significant at 5% probability level based on Tukey test.

واکنش بهره‌وری آبی گیاه چغندرقند به تغییر تاریخ کشت و دور آبیاری‌ها

مقایسه مقادیر بهره‌وری آبی تیمارهای آزمایش در تولید محصول چغندرقند بر اساس آزمون توکی و در سطح آماری پنج درصد نشان‌دهنده واکنش متفاوت این محصول در شهرستان‌های مختلف به تیمارهای آزمایشی بود. نتایج به‌دست آمده در شهرستان نیشابور نشان داد، بیشترین بهره‌وری آبی در این شهرستان در تیمار کاشت در تاریخ یک اسفند و آبیاری با دور آبیاری ۱۴ روز با مقدار ۸/۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد و کمترین بهره‌وری آبی با کاشت در یک اردیبهشت و انجام آبیاری هر ۱۰ روز یک بار در طول فصل شد با

مقدار ۵/۰۵ کیلوگرم در مترمکعب در این شهرستان به‌دست آمد. در شهرستان سبزوار نیز تیمار کشت در یک اسفند و دور آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه زراعی در طول فصل رشد بیشترین بهره‌وری آبی (۴/۰۸ کیلوگرم در مترمکعب) را داشت. البته باید اشاره کرد که در این شهرستان تمام تیمارهای مربوط به تاریخ کشت یک اسفند و همچنین تیمار آبیاری بر اساس نیاز گیاه در تاریخ کشت یک فروردین از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند. در شهرستان سبزوار کمترین مقدار بهره‌وری آبی (۳/۰۷ کیلوگرم در مترمکعب) در شرایطی به‌دست آمد که کشت محصول در ابتدای اردیبهشت صورت گیرد و آبیاری مزرعه با فاصله زمانی ۱۴ روز صورت گیرد. بیشترین و کمترین مقدار بهره‌وری آبی در شهرستان قوچان به‌ترتیب معادل ۷/۷۰ و ۵/۰۷ کیلوگرم در مترمکعب بود که به‌ترتیب مربوط به تیمارهای تاریخ کشت یک اسفند با دور آبیاری ۱۴ روز و تاریخ کشت یک اردیبهشت با دور آبیاری ۱۰ روز بود. مقایسه مقادیر بهره‌وری آبی در تیمارهای مختلف در شهرستان تربت جام نشان داد، تیمارهایی که در آن‌ها آبیاری گیاه زراعی بر اساس نیاز آبی محصول در طول فصل رشد صورت گرفته بود، بیشتر از سایر تیمارها بودند، به‌شکلی که تیمارهای تاریخ کشت یک اسفند و یک اردیبهشت با آبیاری بر اساس نیاز گیاه زراعی به‌ترتیب با مقادیر ۴/۵۲ و ۴/۵۱ کیلوگرم در مترمکعب، بیشترین بهره‌وری آبی را در بین تیمارهای مختلف داشتند. نتایج به‌دست آمده همچنین نشان داد، عدم توجه به نیاز آبی محصول در طول فصل رشد و کاشت دیرتر آن منجر به مقادیر کمتر بهره‌وری آبی می‌گردد، به‌طوری‌که کاشت محصول در تاریخ یک اردیبهشت و آبیاری با فاصله زمانی ۱۰، ۱۴ و ۱۲ روز منجر به کمترین بهره‌وری آبی (به‌ترتیب برابر با ۳/۵۷، ۳/۵۹ و ۳/۶۷ کیلوگرم در مترمکعب) گردید (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه میانگین بهره‌وری آبی بین تیمارهای مختلف در شهرستان‌های مورد مطالعه

Fig. 5- Comparison water productivity between different treatments in studied locations

میانگین‌های با حروف غیرمشترک در هر نمودار در سطح آماری پنج درصد و بر اساس آزمون توکی معنی‌دار هستند.

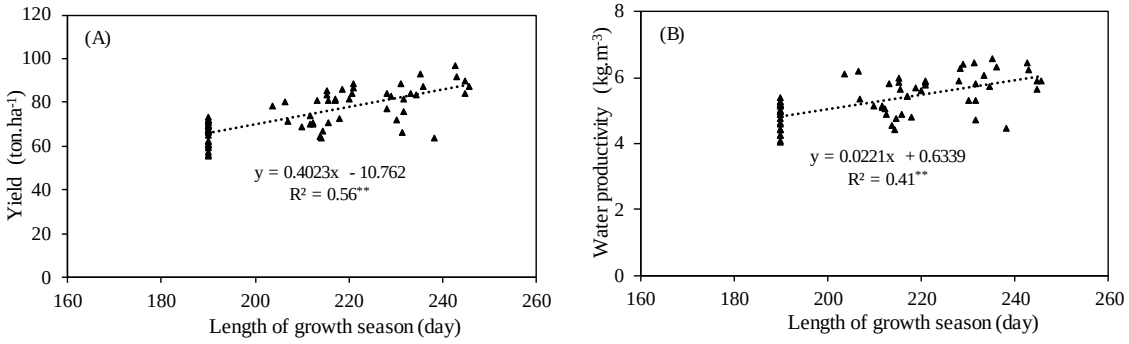
The means with different letters in each column are significant at 5% probability level based on Tukey test.

با مرور کلی نمودارهای ارائه شده در شکل‌های ۴ و ۵ می‌توان دریافت که مقدار عملکرد و بهره‌وری آبی در شهرستان‌های قوچان و نیشابور به مراتب بیشتر از شهرستان‌های تربت جام و سبزوار بود، به شکلی که میانگین عملکرد چغندرقند در تمامی تیمارها در

شهرستان‌های قوچان، نیشابور، تربت جام و سبزوار به‌ترتیب برابر با ۹۸/۰۴، ۹۴/۹۸، ۵۴/۲۰ و ۵۰/۰۴ تن در هکتار بود و همچنین، میانگین بهره‌وری آبی در تمامی تیمارها در این شهرستان‌ها به‌ترتیب معادل ۶/۶۸، ۶/۷۹، ۴/۰۸ و ۳/۶۵ کیلوگرم در مترمکعب آب مصرفی بود که این موضوع به‌دلیل عملکرد کمتر این محصول در شهرستان‌های تربت جام و سبزوار بود. این احتمال می‌رود که بخش عمده از این اختلاف قابل توجه در این شهرستان‌ها ناشی از تفاوت دمایی آن‌ها (شکل ۲) باشد که در نهایت، منجر به تنفس بیشتر (تلفات بیشتر مواد فتوسنتزی) در شهرستان‌های سبزوار و تربت جام (به‌ترتیب ۲۲۹۴/۰۷ و ۱۷۸۴/۷۰ گرم CH_2O در مترمربع زمین) در مقایسه با شهرستان‌های نیشابور و قوچان (به ترتیب ۱۵۸۴/۱۷ و ۱۴۱۳/۱۹ گرم CH_2O در مترمربع زمین) و همچنین مصرف آب بیشتر از طریق روزنه‌ها (تعرق بیشتر) جهت خنک کردن گیاه در این شهرستان‌ها می‌گردد. با توجه به نتایج حاصل از این دو شکل، به نظر می‌رسد در کل انتخاب تاریخ کشت‌های زودتر به‌دلیل استفاده بیشتر از منابع محیطی و زمان بیشتر برای استقرار گیاه زراعی، می‌تواند به دست‌یابی به عملکردهای بیشتر و همچنین بهره‌وری آبی بیشتر کمک کند. نتایج به‌دست آمده همچنین نشان داد، بهترین دور آبیاری در یک سامانه کشت چغندرقند بسته به شرایط اقلیمی منطقه (به‌ویژه دمای هوا) و همچنین هدف کشاورز یا سیاست‌گذاران می‌تواند متغیر باشد. به زبان ساده و به‌صورت یک الگوی کلی می‌توان گفت که کشت در اولین فرصت پس از سرمای بهاره امکان حصول عملکرد و بهره‌وری آبی بیشتر را در مقایسه با کشت دیرتر فراهم خواهد ساخت و در صورتی که هدف از تولید چغندرقند در مناطق مورد بررسی صرفاً دستیابی به عملکرد بیشتر باشد، تنظیم دور آبیاری بهتر است که با توجه به وضعیت دمایی منطقه صورت گیرد، به‌شکلی که در مناطق بسیار گرم مانند سبزوار (با میانگین دمای هوا در طول فصل رشد ۲۱/۹ درجه سانتی‌گراد) با کاهش دور آبیاری به ۱۰ روز، بیشترین عملکرد ریشه به‌دست خواهد آمد. درحالی‌که در مناطقی که دمای هوا نسبت به سبزوار کمتر بود (مانند قوچان، نیشابور و حتی تربت جام با میانگین دما در طول فصل رشد ۱۵/۸ و ۱۷/۶ و ۱۹/۱ سانتی‌گراد) با تنظیم دور آبیاری با توجه به نیاز آبی گیاه زراعی در طول فصل رشد می‌توان به بیشترین عملکرد ریشه دست یافت. در مقابل، با توجه به اینکه تلفات آب در مناطق خنک‌تر مانند قوچان و نیشابور (شکل ۲) کمتر از مناطق گرم است، با افزایش دور آبیاری به ۱۴ روز، کشاورزان می‌توانند در عین دستیابی به مقادیر عملکرد قابل قبول و اقتصادی، تولیدی با بیشترین بهره‌وری آبی را داشته باشند. در مناطق گرم‌تر مانند تربت جام و سبزوار (شکل ۲) نیز آبیاری گیاه زراعی با توجه به نیاز آبی آن منجر به بیشترین عملکرد و بهره‌وری آب در این مناطق خواهد شد. هرچند در مناطق گرم‌تر با توجه به بهره‌وری آب کم در تمام تیمارها، به نظر می‌رسد، بهترین راهکار جهت دست‌یابی به تولید مطلوب و بیشینه در ازای مصرف آب کمتر، انتقال فصل رشد از فصل بهار به پاییز باشد. در مطالعه‌ای در دشت ارزوئیه کرمان نیز عنوان شد، کشت پاییزه چغندرقند در مناطق گرمسیری در مقایسه با کشت بهاره آن از نظر عملکرد و کارایی مصرف آب به مراتب مناسب‌تر است (Javaheri et al., 2006). در مطالعه دیگری نیز عنوان گردید که در گیاه چغندرقند می‌توان با تغییر فصل کشت علاوه‌بر افزایش عملکرد در مصرف آب نیز صرفه‌جویی نمود (Deihimfard & Rahimi-Moghaddam, 2015). در یک مطالعه دیگر نشان داده شده که تغییر فصل کشت ذرت باعث ایجاد کاهش میانگین دما (۲/۶- درجه سانتی‌گراد)، افزایش بارندگی (۸۱/۳ میلی‌متر) و افزایش طول دوره رشد ذرت (هشت روز) می‌شود (Rahimi-Moghaddam et al., 2019).

واکنش گیاه چغندرقند به تغییر تاریخ کشت: تأثیر طول فصل رشد بر عملکرد و بهره‌وری آب

نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها در این پژوهش نشان داد، انتخاب تاریخ کشت زودتر می‌تواند موجب افزایش طول فصل رشد در شهرستان‌های مورد مطالعه گردد، به‌شکلی که به‌طور میانگین در تمامی مناطق، طول فصل رشد در تاریخ کشت‌های یک اسفند، یک فروردین و یک اردیبهشت به‌ترتیب معادل ۲۳۶، ۲۱۴ و ۱۹۰ روز بود. نتایج حاصل از بررسی ارتباط بین طول فصل رشد (تاریخ کشت) و عملکرد و بهره‌وری آب گیاه چغندرقند در تمامی مناطق مورد بررسی بیانگر وجود ارتباط معنی‌دار در سطح آماری یک درصد برای هر دو متغیر مورد بررسی بود که این مسئله بیانگر میزان تأثیر تغییر تاریخ کشت بر روی عملکرد و بهره‌وری آبی گیاه چغندرقند در مناطق مورد بررسی بود (شکل ۶). بر اساس معادله خط به‌دست آمده در شکل ۶، به‌ازای افزایش یک روز در طول دوره رشد، عملکرد ریشه ۰/۴ تن در هکتار و بهره‌وری آب ۰/۰۲۲ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش یافته است.



شکل ٦- رابطه رگرسیونی بین طول فصل رشد با الف) عملکرد و ب) بهره‌وری آبی گیاه چغندرقند در تمام شهرستان‌های مورد مطالعه

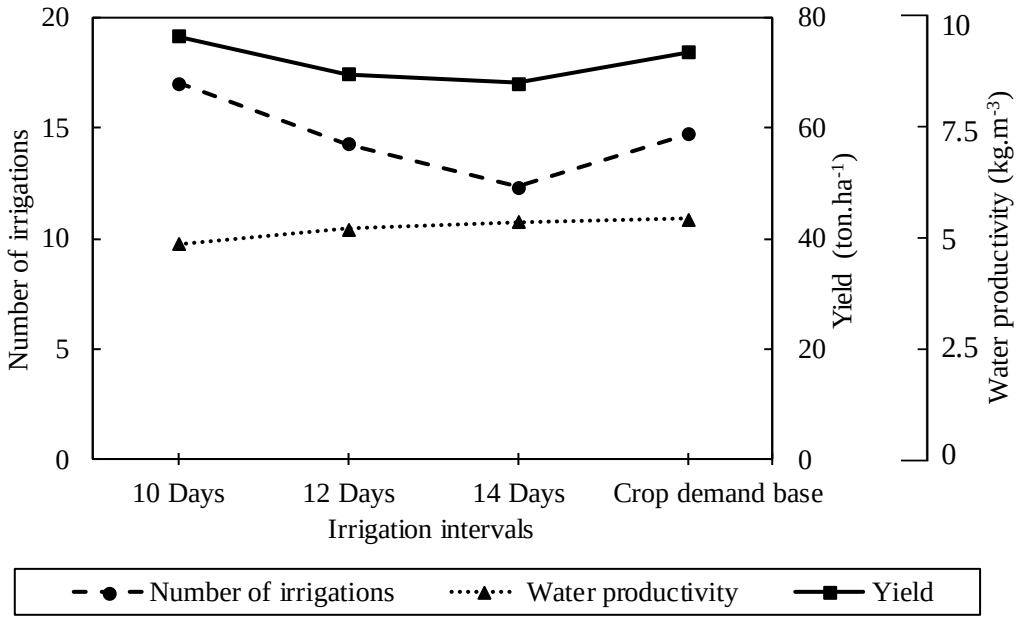
Fig. 6- Regression relationship between length of growth season with A) yield and B) water productivity at all studied locations

این تأثیر معنی‌دار طول فصل رشد بر روی عملکرد و بهره‌وری آبی گیاه چغندرقند می‌تواند به‌دلیل استفاده بهتر و بیشتر از منابع محیطی توسط گیاه زراعی با افزایش طول دوره رشد باشد. برای مثال، در تیمارهای با طول فصل رشد بیشتر (تاریخ کشت یک اسفند)، میزان تشعشع خورشیدی دریافتی در طول فصل رشد برای شهرستان‌های سبزوار، تربت جام، نیشابور و قوچان به‌ترتیب معادل ۵۲۴۲، ۵۲۰۰، ۵۲۱۴ و ۵۱۹۴ مگاژول در مترمربع بود، درحالی‌که این مقادیر برای تیمارهای با طول فصل رشد کمتر (تاریخ کشت یک اردیبهشت) در این شهرستان‌ها به‌ترتیب برابر با ۴۴۱۰، ۴۵۹۲، ۴۵۰۸ و ۴۳۱۴ مگاژول در مترمربع بود. علاوه‌براین، بررسی‌ها نشان داد، میزان بارش‌های بهاره دریافتی در تیمارهای تاریخ کشت مختلف در شهرستان‌های مورد بررسی متفاوت بود، به‌شکلی که میزان بارش‌های بهاره در شهرستان‌های سبزوار، تربت جام، نیشابور و قوچان در تاریخ کشت‌های یک اسفند (طول فصل رشد بیشتر) به‌ترتیب معادل ۹۱/۳، ۹۳/۷، ۱۲۳/۴ و ۱۸۸ میلی‌متر بود، درحالی‌که مقدار بارش دریافتی در تیمارهای با تاریخ کشت یک اردیبهشت (طول فصل رشد کمتر) در این شهرستان‌ها به‌ترتیب معادل ۳۱/۵، ۳۲، ۴۲/۵ و ۸۴/۷ میلی‌لیتر بود. این مسائل به‌خوبی دسترسی بهتر به منابع محیطی در تاریخ کشت‌های زودتر را هویدا می‌سازد. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با نتایج دیگر محققان نیز هم‌سو بود، به‌طوری‌که در مطالعات دیگر نیز بسیاری از پژوهشگران عنوان کردند که تاریخ کشت زودتر در کشت بهاره چغندرقند منجر به عملکرد و یا بهره‌وری آبی بیشتر در این محصول می‌گردد (Yonts et al., Soleymani et al., 2003 ; 1999; Pavlů et al., 2017; Vafadar et al., 2008).

واکنش عملکرد و بهره‌وری آبی چغندرقند به تغییر فواصل آبیاری

با توجه به خروجی‌های به‌دست آمده از شبیه‌سازی‌های بلندمدت، میانگین تعداد آبیاری صورت گرفته در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف آبیاری در تمامی شهرستان‌ها و تیمارهای تاریخ کشت همان طور که انتظار می‌رفت، متغیر بود. همان‌طور که در شکل ۷ ارائه شده است، بیشترین تعداد آبیاری انجام شده در طول فصل رشد مربوط به دور آبیاری ۱۰ روز (به‌طور میانگین ۱۷/۱ مرتبه آبیاری) و کمترین تعداد آبیاری نیز مربوط به تیمار دور آبیاری ۱۴ روز (به‌طور میانگین ۱۲/۴ مرتبه آبیاری) بود. علاوه‌براین، میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده برای تیمارهای مختلف دور آبیاری در تمامی مناطق بین ۶۸/۱۵ (تیمار دور آبیاری ۱۴ روز) تا ۷۶/۷۸ (تیمار دور آبیاری ۱۰ روز) تن در هکتار متغیر بود. نتایج به‌دست آمده همچنین نشان داد، میانگین بهره‌وری آبی برای این تیمارها بین ۴/۹ تا ۵/۵ کیلوگرم بر مترمکعب تغییرات داشت که به‌ترتیب مربوط به تیمار دور آبیاری ۱۰ روز و تیمار دور آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه زراعی بود.

این نتایج نشان می‌دهد، به‌موازات افزایش تعداد آبیاری‌ها در تیمارهای مختلف آبیاری، عملکرد ریشه نیز افزایش یافته است که این واکنش مثبت عملکرد ریشه به افزایش مقدار آب فراهم شده برای گیاه زراعی ناشی از نیاز آبی بالای این محصول (Dehghanisanij et al., 2020) است.



شکل ۷- تغییرات عملکرد و بهره‌وری آبی گیاه چغندرقند و همچنین تعداد آبیاری صورت گرفته در تیمارهای مختلف دور آبیاری در تمام شهرستان‌های مورد بررسی

Fig 7- Variability of the sugar beet yield and water productivity and the number of applied irrigations in different irrigation intervals treatments at studied locations

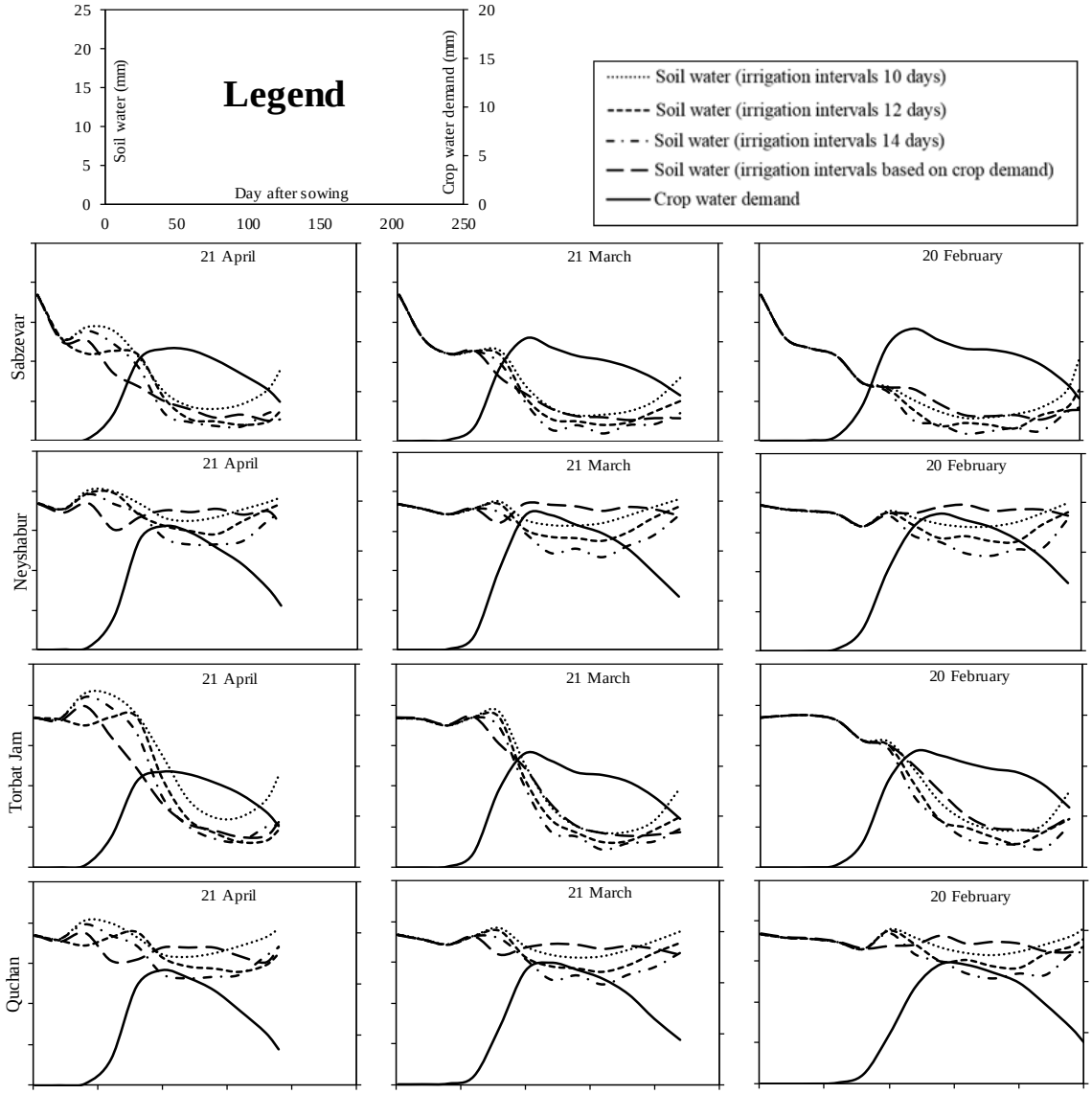
با این حال، نتایج نشان داد که اعمال آبیاری بیشتر بدون توجه به نیاز آبی گیاه زراعی در طول فصل رشد موجب حصول مقادیر کمتر بهره‌وری آب خواهد شد که لزوم تمرکز آبیاری‌ها در مراحل رشدی حساس و با نیاز آبی بالا را نشان می‌دهد. سپاسخواه و کامگار حقیقی (Sepaskhah & Kamgar-Haghighi 1997) در پژوهشی دو ساله در منطقه شیراز نیز دریافتند که با استفاده آب بیشتر برای تولید چغندرقند، مقداری کارایی مصرف آب در تولید این محصول کاهش یافت. سیدان و منصوری (Seyedan & Mansouri 2019) در پژوهشی بر روی سیستم‌های آبیاری در مناطق مختلف استان همدان گزارش کردند که مقادیر کمتر بهره‌وری فیزیکی آب در شرایطی که حجم آب به‌کار رفته برای تولید چغندرقند بیشتر بود به‌دست آمد. باید توجه داشت که درصد تغییرات تعداد آبیاری‌ها در بیشترین حالت (۱۷/۱ مرتبه) نسبت به کمترین مقدار آن (۱۲/۴ مرتبه) حدود ۳۸ درصد بوده، درحالی‌که این مقدار (درصد تغییرات بیشترین مقدار نسبت به کمترین مقدار) برای عملکرد ریشه و بهره‌وری آبی به‌ترتیب معادل ۱۳ و ۱۲ درصد بوده است. این مسئله می‌تواند به‌نوعی بیانگر این موضوع باشد که تغییر دور آبیاری‌ها و به تبع آن تغییر در تعداد آبیاری‌ها چندان بر روی عملکرد و بهره‌وری آبی گیاه چغندرقند تأثیرگذار نیست و برای مثال، کشاورزان نباید انتظار داشته باشند، با افزایش در تعداد آبیاری‌ها (کاهش دور آبیاری)، به همان مقدار تغییرات در عملکرد نیز رخ دهد. در مطالعات دیگر مانند در مشهد (Haghayeghi et al., 2015) و در کرمانشاه (Jalilian et al., 2001) نیز عدم واکنش قابل‌توجه گیاه چغندرقند به تغییر دور آبیاری‌ها نیز گزارش شده است که این موضوع می‌تواند ناشی از تحمل نسبی گیاه چغندرقند به تنش‌های خفیف آبی باشد (Jaggard et al., 1998).

نیاز آبی روزانه چغندرقند و مقدار روزانه آب خاک در تیمارهای مختلف

بررسی روند تغییرات نیاز آبی گیاه چغندرقند در شرایط رشد بهینه در طول فصل رشد نشان داد، اوج نیاز آبی این گیاه در طول فصل رشد در ماه‌های تیر الی شهریور است. این در حالی است که مقدار آبِ موجود در خاک در طول این ماه‌ها در تیمارهای مختلف آبیاری در شهرستان‌های نیشابور و قوچان (مناطق خنک) در مقایسه با تربت جام و سبزوار (مناطق گرم) بیشتر بود، به‌شکلی که در شهرستان‌های تربت جام و سبزوار مقدار روزانه آب خاک در طول فصل رشد روندی

کاهشی داشته و روند آب خاک در نیشابور و قوچان در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف تقریباً ثابت و یا با شیبی بسیار ملایم کاهشی بود (شکل ۶). دلیل اصلی این اختلاف، ناشی از تلفات بالای آب خاک به‌دلیل گرمای هوا و تخلیه آب خاک به‌وسیله تبخیر و تعرق در مزارع در مناطق گرم‌تر در طول ماه‌های تیر الی شهریور بود که تفاوت در ظرفیت نگهداری آب خاک در مناطق مورد بررسی نیز می تواند موجب تشدید افت محتوی روزانه آب خاک در این مناطق شود.

پناهی و همکاران (Panahi et al., 2006) نیز در مطالعه‌ای بر روی تبخیر و تعرق چغندرقند بهاره در اصفهان گزارش کردند که اوج تبخیر و تعرق در کشت این محصول در ماه‌های تیر و مرداد رخ می‌دهد که نیازمند تمرکز بر تأمین آب از دست رفته در این ماه‌ها می‌باشد. مقایسه بین نیاز آبی محصول و میزان انطباق عرضه آب خاک در تیمارهای آبی مختلف می‌تواند تفاوت در بهره‌وری آبی شهرستان‌های مورد بررسی و تیمارهای مختلف را توجیه کند.



شکل ۸- روند تغییرات روزانه نیاز آبی گیاه چغندرقند در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف تاریخ کشت و آبیاری در شهرستان‌های مورد مطالعه

Fig. 8- Sugar beet daily water demand in the growth season in different sowing dates and irrigation intervals treatments at studied locations

برای مثال، با توجه به شکل ۸، در شهرستان سبزوار با وجود اعمال منظم آبیاری‌ها در هر سه تاریخ کشت بررسی شده در این مطالعه، مقدار آب عرضه شده در خاک در تمامی حالت‌ها بسیار کمتر از نیاز آبی گیاه چغندر بود که در نتیجه، منجر به افت عملکرد و همچنین کاهش بهره‌وری آبی شد. این وضعیت برای تیمارهای آبیاری در فواصل زمانی ۱۴ و ۱۲ روز شدیدتر بود و در نتیجه، مقدار عملکرد و بهره‌وری آبی در تیمارهایی که دور آبیاری‌ها ۱۲ و ۱۴ روز بودند در مقایسه با سایر تیمارها در این شهرستان کمتر بود (شکل‌های ۴ و ۵).

نتیجه‌گیری

این پژوهش با استفاده از مدل شبیه‌سازی SUCROS و اطلاعات بلندمدت هواشناسی در چهار شهرستان استان خراسان رضوی انجام شد. در این مطالعه، استفاده از تغییر تاریخ کاشت و دور آبیاری‌ها (کاهش تعداد آبیاری‌ها در طول فصل رشد) به‌عنوان دو راهکار مدیریتی در افزایش تولید و بهره‌وری آبی محصول چغندرقند ارزیابی شدند. با توجه به نتایج این مطالعه، از آنجایی‌که هدف‌های مورد نظر در این پژوهش افزایش عملکرد و افزایش بهره‌وری بودند، تغییر تاریخ کشت و انتخاب زودترین تاریخ کشت ممکن پس از گذر از سرمای زمستان می‌تواند با افزایش استفاده از منابع محیطی (انرژی خورشیدی و بارش‌های بهاره) تأثیر مثبت و قابل توجهی بر روی تولید و بهره‌وری مصرف آب در بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند داشته باشد. علاوه‌براین می‌توان در کنار کشت در اولین تاریخ کشت ممکن، بسته به شرایط اقلیمی منطقه (دمای هوا) و هدف کشاورزان و یا سیاست‌گذاران، فاصله بین آبیاری‌ها را تغییر داد. خروجی‌های این پژوهش نشان داد که به نظر می‌رسد در مناطق گرمسیری کشت بهاره چغندرقند از نظر تولید و همچنین بهره‌وری آبی چندان مطلوب نمی‌باشد و بایستی تغییر فصل کشت در این مناطق و کاشت این محصول در پاییز در این مناطق مورد بررسی قرار گیرد. بررسی فواصل مختلف آبیاری نشان داد در برخی مناطق به‌ویژه مناطق خنک‌تر می‌توان با افزایش دور آبیاری‌ها تا ۱۴ روز، به بهره‌وری بالاتری در تولید محصول چغندرقند در عین حصول عملکرد قابل قبول و اقتصادی دست یافت که این مسئله می‌تواند در حفظ منابع آبی کمک شایانی نماید. همچنین توجه به نیاز آبی این محصول در طول فصل رشد و افزایش آبیاری‌ها در فصول گرم سال می‌تواند در افزایش عملکرد این محصول مؤثر باشد.

قدردانی

نویسندگان از جناب آقای دکتر رضا دیهیم فرد عضو هیات علمی دانشگاه شهید بهشتی تهران به خاطر نظرات ارزشمند ایشان در پیشبرد مقاله حاضر کمال قدردانی را دارند.

References

1. Abdolahian Noghabi, M., Alamoli, Z.R., Akbari, G.A., & Nouri, S.A.S., (2011). Effect of severe water stress on the morphologic, quantitative, and qualitative characteristics of 20 sugar beet genotype. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *42*(3), 453–464. (In Persian with English Summary) https://dorl.net/dor/20.1001.1.20084811.1390.42.3.3.3
2. Amiri, S.R., (2018). Determining the optimum sowing date of chickpea in Kermanshah province using modeling approach. *Plant Ecophysiology*, *10*, 130-141. (In Persian with English Summary) https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085958.1397.10.32.11.6
3. Amiri, S.R., Deihimfard, R., & Soltani, A., (2016). A single supplementary irrigation can boost chickpea grain yield and water use efficiency in arid and semiarid conditions: A modeling study. *Agronomy Journal*, *108*, 2406–2416. https://doi.org/10.2134/agronj2016.02.0087
4. Anonymous, (2022). Report of the area, production, and yield of crops in the crop year 2019-2020, Office of Statistics and Information Technology. (In Persian with English Summary)
5. Chauhan, Y., Allard, S., Williams, R., Williams, B., Mundree, S., Chenu, K., & Rachaputi, N.C., (2017). Characterisation of chickpea cropping systems in Australia for major abiotic production constraints. *Field Crops Research*, *204*, 120-134. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.008
6. Chenu, K., Deihimfard, R., & Chapman, S.C., (2013). Large-scale characterization of drought pattern: A continent-

wide modelling approach applied to the Australian wheatbelt– spatial and temporal trends. *New Phytologist, 198*, 801–820. https://doi.org/10.1111/nph.12192

7. Dehghanisanij, H., Ebrahimi, M., Rezaverdinejad, V., & Taghizadehghasab, A., (2020). Impact of changing irrigation method and planting spacing on water productivity, yield, and application efficiency of sugar beet in Miandoab plain. *Iranian Journal of Soil and Water Research, 51*(8), 2125-2136. https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.300764.668575
8. Deihimfard, R., & Rahimi-Moghaddam, S., (2015). Assessing spring and autumn cropping of sugar beet yield in Mashhad and Neyshabor, by a simulation model. *Journal of Plant Production Research, 22*(3), 157-180 (In Persian with English Summary) https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222050.1394.22.3.7.8
9. Deihimfard, R., Nassiri Mahallati, M., & Koocheki, A., (2011). SUCROSBEET: A simple model for simulating growth and development of sugar beet under potential and nitrogen-limited conditions. *Journal of Agroecology, 2*(1), 1-20. (In Persian with English Summary)
10. Deihimfard, R., Rahimi-Moghaddam, S., & Chenu, K., (2019). Risk assessment of frost damage to sugar beet simulated under cold and semi-arid environments. *International Journal of Biometeorology, 63*(4), 511-521. https://doi.org/10.1007/s00484-019-01682-5
11. Dunham, R.J., (1993). Water use requirements. In D.A. Cooke and R.K. Scott (Eds.). The Sugar Beet Crop: Science into Practice. Chapman and Hall, London. p. 279–309.
12. Ebrahimipak, N.A., & Ghalebi, S., (2014). Determination of evapotranspiration and crop coefficient of sugar beet using lysimeter and its comparison with experimental methods in Shahrekord, Iran. *Journal of Sugar Beet, 30*(1), 23-32. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22092/jsb.2014.5854
13. Emdad, M.R., & Tafteh, A., (2017). Evaluation of Aquacrop model for decreasing water stress effects due to different wheat planting date. *Journal of Agronomy and Plant Breeding, 13*(4), 75-83. (In Persian with English Summary)
14. Fabeiro, C., Santa Olalla, M. Lopez, R., & Dominguez, A., (2003). Production and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivated under controlled deficit irrigation in semi-arid climate. *Agricultural Water Management, 62*, 215–227. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00097-0
15. Haghayeghi, S.A., Alizadeh, A., Ahmadi, M., Bannayan, M., & Ansari, H., (2015). Effect of irrigation regimes on crop water use efficiency of autumn sugar beets grown on the Mashhad plain. *Journal of Agricultural Engineering Research, 16*(3), 15-30. (In Persian with English Summary)
16. Heydari Pour, R., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., & Zarea Faze Abadi, A., (2014). The effects of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on productivity and efficiency in corn (*Zea mays* L.), sugar beet (*Beta vulgaris* L.), and sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Agroecology*, *6*(2), 187-198. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/jag.v6i2.39361
17. Heydari Pour, R., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., & Zarea Faze Abadi, A., (2015). Effects of irrigation and nitrogen application rates on yield and yield components of corn, sesame, and sugar beet in Mashhad climatic condition. *Iranian Journal of Field Crops Research, 13*(1), 24-33. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/gsc.v13i1.48312
18. Jabro, J.D., Iversen, W.M., Evans, R.G., & Stevens, W.B., (2012). Water use and water productivity of sugar beet, malt barley, and potato as affected by irrigation frequency. *Agronomy Journal, 104*, 1510-1516. https://doi.org/10.2134/agronj2012.0169
19. Jabro, J.D., Stevens, W.B., Iverson, W.M., Evans, R.G., & Allen, B.L., (2014). Crop water productivity of sugarbeet as affected by tillage. *Agronomy Journal, 106*, 2280–2286. https://doi.org/10.2134/agronj14.0186
20. Jaggard, K.W., Dewar, A.M., & Pidgeon, J.D., (1998). The relative effects of drought stress and virus yellows on the yield of sugar beet in the UK, 1980-1995. *Journal of Agricultural Science, 130*, 337-343. https://doi.org/10.1017/S0021859698005371
21. Jalilian, A., Shirvani, A.R., Neamati, A., & Basati, J., (2001). Effects of deficit irrigation on the production and economy of sugar beet in Kermanshah region. *Journal of Sugar Beet, 17*(1), 1-14. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22092/jsb.2001.11560
22. Javaheri, M.A., Najafinezhad, H., & Azad Shahraki, F., (2006). Study of autumn sowing of sugar beet in Orzouiee area (Kerman province). *Pajouhesh and Sazandegi, 71*, 85-93. (In Persian with English Summary)
23. Jovzi, M., & Zare Abyaneh, H., (2016). Water productivity and water use efficiency indexes of Sugar beet under

different levels of water and nitrogen fertilizer. *Journal of Water and Soil Conservation*, *22*(5), 117-133. (In Persian with English Summary) https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222069.1394.22.5.7.7

24. Kamali, B., Ramezani Etedali, H., & Sotoodehnia, A., (2016). Determining appropriate time for rainfed lentil sowing and supplementary irrigation in Qazvin's plain using AquaCrop model. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *5*(10), 613-621. (In Persian with English Summary)
25. Karimi, A., & Naderi, M., (2008). Different levels of irrigation and nitrogen effects on quantitative and qualitative yield and water use efficiency of Sugar beet. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *22*(1), 235-246. (In Persian with English Summary)
26. Mirzaei, M.R., & Rezvani, S.M., (2012). Effect of deficit irrigation levels at four growth stages on yield and quality of sugar beet. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *14*(2), 94-107. (In Persian with English Summary) http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1391.14.2.1.4
27. Pakmehr, S., Yazdanpanah, M., & Baradaran, M., (2021). Investigating the behavior of farmers in the face of water scarcity. *Journal of Applied Sociology*, *32*(3), 135-154. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22108/jas.2021.113630.1526
28. Panahi, M., Agdaei, M., & Rezaei, M., (2006). Determination of sugar beet standard evapotranspiration by lysimeter method in Kabotar-Abad, Isfahan. *Journal of Sugar Beet*, *22*(1), 25-37. https://doi.org/10.22092/jsb.2006.1663
29. Pavlů, K., Chochola, J., Pulkrábek, J., & Urban, J., (2017). Influence of sowing and harvest dates on production of two different cultivars of sugar beet. *Plant Soil Environment*, *63*(2), 76-81 https://doi.org/10.17221/614/2016-PSE.
30. Pawar, G.S., Kale, M.U., & Lokhande, J.N., (2017). Response of AquaCrop model to different irrigation schedules for irrigated cabbage. *Agricultural Research*, *6*(1), 73-81. https://doi.org/10.1007/s40003-016-0238-2
31. Qi, A., Kenter, C., Hoffmann, C., & Jaggard, K.W., (2005). The Broom's Barn sugar beet growth model and its adaptation to soils with varied available water content. *European Journal of Agronomy*, *23*, 108–122. https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.09.007
32. Rahimi-Moghaddam, S., Eyni-Nargeseh, H., Ahmadi, S.A.K., & Azizi, K., (2021). Towards withholding irrigation regimes and drought-resistant genotypes as strategies to increase canola production in drought-prone environments: A modeling approach. *Agricultural Water Management*, *243*, 106487. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106487
33. Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., & Deihimfard, R., (2019). Optimal genotype× environment× management as a strategy to increase grain maize productivity and water use efficiency in water-limited environments and rising temperature. *Ecological Indicators*, *107*, 105570. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105570
34. Saddique, Q., Cai, H., Ishaque, W., Chen, H., Chau, H.W., Chattha, M.U., Hassan, M.U., Khan, M.I., & He, J., (2019). Optimizing the sowing date and irrigation strategy to improve maize yield by using CERES (Crop Estimation through Resource and Environment Synthesis)-maize model. *Agronomy*, *9*(2), 1-19. https://doi.org/10.3390/agronomy9020109
35. Sadrghein, H., (2012). Effects of drip tape irrigation on quantity and quality of sugar beet yield. *Journal of Water Research in Agriculture*, *26*(3), 275-288. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22092/jwra.2012.118981
36. Saini, K.S., & Brar, N.S., (2018). Crop and water productivity of sugarbeet (Beta vulgaris) under different planting methods and irrigation schedules. *Agricultural Research*, *7*(1), 93-97. https://doi.org/10.1007/s40003-018-0294-x
37. Sepaskhah, A.R., & Kamgar-Haghighi, A.A., (1997). Water use and yields of sugarbeet grown under every-other-furrow irrigation with different irrigation intervals. *Agricultural Water Management*, *34*(1), 71-79. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(96)01290-5
38. Seyedan, S.M., & Mansouri, H., (2019). Water productivity in sugar beet cultivation under classical and furrow irrigation system in Hamedan province. *Journal of Agroecology*, *11*(2), 673-686. https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.68593
39. Soleymani, A., Khajehpour, M.R., Nourmohammadi, G., & Sadeghian, Y., (2003). Effects of planting date and pattern on some physiological growth indices of sugarbeet. *Journal of Agricultural Sciences*, *9*(1), 105-122. (In Persian with English Summary)
40. Spitters, C.J.T., Van Keulen, H., & Van Kraalingen, D.W.G., (1989). A simple and universal crop growth simulator: SUCROS87. In R. Rabbinge S.A. Ward and H.H. van Laar (Eds.) Simulation and Systems Management

in Crop Protection. Pudoc, Wageningen, The Netherlands. p. 147-181

41. Tabiei, H., & Baradaran, R., (2014). Effect of irrigation intervals and planting date on agronomic characteristics of Degen and Drfi (*Securiger securidaca* L.) in Birjand region. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(1), 80-90. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/gsc.v12i1.36643
42. Vafadar, L., Ebadi, A., & Sajed, K., (2008). Effects of sowing date and plant density on yield and some traits of sugar beet genotypes. *Electronic Journal of Crop Production*, *1*(2), 103-120. (In Persian with English Summary) https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1387.1.2.7.0
43. van Laar, H.H., Goudriaan, J., & van Keulen, H., (1997). SUCROS 97: Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations, as applied to spring wheat. Quantitative Approaches in Systems Analysis, Wageningen, The Netherlands.
44. Wallach, D., Makowski, D., Jones, J.W., & Brun, F., (2014). Working with Dynamic Crop Models: Methods, Tools, and Examples for Agriculture and Environment: Second Edition. pp. 1–487.
45. Yonts, C.D., Wilson, R.G., & Smith, J.A. (1999). Influence of planting date on stand, yield, and quality of sugarbeet. *Journal of Sugar Beet Research*, *36*(3), 1-14.
46. Zhou, L., Liao, S., Wang, Z., Wang, P., Zhang, Y., Yan, H., Gao, Z., Shen, S., Liang, X., Wang, J., & Zhou, S., (2018). A simulation of winter wheat crop responses to irrigation management using CERES-Wheat model in the North China plain. *Journal of Integrative Agriculture*, *17*(5), 1181–1193. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61818-5

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

Research Article
Vol. 15, No. 4, 2024, p. 843-862

Predicting the Effect of Climate Change on the Suitability of Canola (*Brassica napus* L.) Cultivation Land using SDSM and Lars-WG Models in Mazandaran Province

Mohsen Abshenas[1], Behnam Kamkar[2]*, Afshin Soltani[3] and Hossein Kazemi[4]

1- Ph.D. Student, Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
2- Professor, Department of Agrotechnology., Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
4- Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Iran.
(*- Corresponding author's Email: kamkar@um.ac.ir)

Received: 01-06-2022
Revised: 25-09-2022
Accepted: 01-10-2022
Available Online: 01-10-2022

How to cite this article:
Abshenas, M., Kamkar, B., Soltani, A., & Kazemi, H. (2024). Predicting the effect of climate change on the suitability of canola (*Brassica napus* L.) cultivation land using SDSM and Lars-WG models in Mazandaran province. *Journal of Agroecology*, *15*(4), 843-862.
DOI: 10.22067/agry.2022.76858.1112

Introduction

In recent years, the heightened concentration of greenhouse gases has brought increased attention to the pressing issue of climate change. Therefore, monitoring climatic variables to prevent the adverse effects of climate change is more important than ever. In pursuing long-term climatic forecasting and assessing their evolving patterns; various international scientific societies have concentrated on understanding the extent of climate change and devising measures to counter its adverse effects. The development of general circulation models of the atmosphere (GCM) has been a significant stride in this direction. However, GCMs may lack precision in predicting minor changes at a local scale. To address this limitation, the utilization of downscaling models such as SDSM and Lars_WG (that were used here) becomes imperative. These models serve as essential tools for simulating the viability of cultivating agricultural species in the future, especially when considering localized impacts. Because climate change will probably change the conditions for growing canola, as one of the strategic and prominent crops in Iran, studying the effects of this worldwide event on the canola-grown fields in the future is needed.

Materials and Methods

In this research, using temperature and precipitation forecasting models, GIS functions and hierarchical analysis process (AHP), canola suitability classes for 2050 were determined in Mazandaran Province. 37 meteorological and synoptic stations were involved, and climatic data (including temperatures and precipitation) were generated under three RCP scenarios (2.6, 4.5, 8.5). In this study, we utilized two general circulation models (Can-ESM2 and HadGEM2-ES) that had been recommended for application in the study area.

Results and Discussion

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https:// DOI: 10.22067/agry.2022.76858.1112

A comparison of the involved models showed that the SDSM model was superior in predicting temperature, while the Lars-WG model performed better in predicting precipitation. The results for the land suitability revealed that the changes in climatic variables would lead to changing the suitability of agricultural lands for growing canola. Examining temperature change maps in the investigated region revealed that minimum and maximum temperature variables are poised to rise under climate change scenarios, with a more pronounced increase anticipated in maximum temperatures. The findings indicate that the projected temperature increase will establish more conducive conditions for canola cultivation. Additionally, precipitation patterns increase in both RCP 2.6 and 4 scenarios, with a more substantial rise in the RCP 2.6 scenario. Conversely, the RCP 8.5 scenario predicts a decline in precipitation levels. Also, considering the climate change scenarios, the spatial distribution and the area of each suitability class changed slightly, so the high-suitable class will extend under RCP2.6, especially toward the center parts of the study area. Under RCP 8.5 and RCP 4.5 scenarios, not only suitable lands were not considerable, but also the less suitable land extended to the southern and western parts of the study area.

Conclusion

The output of the land suitability maps showed that climate change would change the suitability of the studied agricultural lands in the future. Also, with the implementation of the climate change scenarios, the area and geographical distribution of detected classes will change. In the optimistic scenario, the lands will be more appropriate for canola cultivation and will cover a wider area. In other scenarios, the conditions for canola cultivation in the lands of Mazandaran will be more unsuitable compared to the present, and the decrease in the level of suitability will be more evident in the western and southern lands of the province. Therefore, solutions such as the use of more compatible cultivars and changes in agricultural management in facing new conditions in these areas should be considered. The outcomes of these studies offer practical insights for shaping regional planting strategies, aiding decisions on crop inclusion or exclusion, and informing the overall design of agricultural patterns in the area.

Keywords: Geographic information system (GIS), Precipitation, Temperature, Zoning

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ۸٦۲-۸٤۳

پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر تناسب اراضی کشت کلزا (*Brassica napus* L.) در استان مازندران با استفاده از مدل‌های ریز مقیاس نمایی SDSM و Lars-WG

محسن آب شناس[۱]، بهنام کامکار[۲]*، افشین سلطانی[۳] و حسین کاظمی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۹

چکیده

تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر به‌دلیل افزایش هرچه بیشتر گازهای گلخانه‌ای بیشتر از گذشته مشهود است. بنابراین، پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی جهت اطلاع از میزان تغییرات آن‌ها و در نظر گرفتن تمهیدات لازم به‌منظور تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییرات اقلیمی بیش از قبل مورد توجه است. راهکار پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی استفاده از مدل‌های ریز مقیاس نمایی است. مدل‌هایی چون SDSM و Lars-WG مثال‌هایی از این ریز مقیاس نماها می‌باشند که در این مطالعه به آن پرداخته شده است. از آنجا که تغییر اقلیم شرایط کشت گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) که یکی از گیاهان راهبردی و ارزشمند در ایران است را نیز دستخوش تغییر خواهد کرد، بنابراین انجام پژوهشی جهت مدیریت هرچه بهتر تولید این محصول در شرایط تغییر اقلیم، ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق، با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی دما و بارش و بهره‌گیری از ابزارهایی چون سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به پهنه‌بندی زراعی گیاه کلزا بر اساس شرایط پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۵۰ میلادی در استان مازندران پرداخته شده است. در این تحقیق از داده‌های ۳۷ ایستگاه هواشناسی و سینوپتیک استفاده شد و به تولید داده‌های اقلیمی (دماهای حداقل و بارش) در سه سناریوی RCP (2.6, 4.5, 8.5) پرداخته شد. مقایسه مدل‌های پیش‌بینی تغییر اقلیم نشان داد که مدل SDSM در پیش‌بینی دماهای حداقل موفق‌تر بوده است، امّا برای پیش‌بینی میزان بارش مدل Lars-WG عملکرد بهتری داشت. خروجی نقشه تناسب اراضی نشان داد که تغییر متغیرهای اقلیمی در آینده موجب تغییر در تناسب اراضی زراعی خواهد شد. همچنین با اجرای سناریوی تغییر اقلیم، پراکندگی مکانی و مساحت طبقات مختلف کمی دچار تغییر شد، به‌گونه‌ای که با اجرای سناریوی RCP 2.6 مساحت اراضی طبقه خیلی مناسب افزایش یافته و گسترش آن به‌سمت مرکز استان بوده است. در سناریوهای RCP 8.5 و RCP 4.5 اراضی با طبقه تناسب خیلی مناسب وجود نخواهد داشت و به‌سمت طبقات با تناسب ضعیف سوق داده خواهند شد. به‌طور کلی، در سناریوی خوش‌بینانه تناسب اراضی برای کشت کلزا شرایط بهتر و پهنه وسیع‌تری خواهد یافت و در سناریوهای دیگر شرایط برای کشت کلزا در اراضی مازندران نسبت به زمان حال ضعیف‌تر خواهد شد و این کاهش کیفیت در اراضی غربی و جنوبی استان مشهودتر است. بنابراین، راهکارهایی چون استفاده از ارقام سازگارتر و تغییر در مدیریت زراعی در رویارویی با شرایط جدید در این مناطق باید مورد توجه قرار گیرد.

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳- استاد، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۴- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: kamkar@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2022.76858.1112

واژه‌های کلیدی: بارش، پهنه‌بندی، دما، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

مقدمه

تغییر در دماهای اصلی و بارش در یک محدوده مشخص که در تعریف کلی "تغییر اقلیم" نامیده می شود، در سال‌های اخیر از اهمیت ویژه‌ای در مطالعات مرتبط با حو ضه ک شاورزی برخوردار شده ا ست، زیرا این تغییرات در سال های اخیر به‌دلیل افزایش هر چه بیشتر گازهای گلخانه‌ای خیلی بیشتر از گذ شته م شهود ا ست (Koocheki et al., 2015). بنابراین، پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی جهت اطلاع از میزان تغییرات آن‌ها و در نظر گرفتن تمهیدات لازم به‌منظور تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییرات اقلیمی مورد توجه بسیاری از مجامع علمی جهانی قرار گرفته است. بر همین اساس، مدل‌های گردش عمومی جوّ (GCM) توسعه یافته‌اند، امّا این مدل‌ها قادر به پیش‌بینی تغییرات کو چک در مق یاس محلی نخواه ند بود، راه کار پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی، استفاده از مدل‌های ریز مقیاس نمایی نظیر SDSM و Lars_WG می باشند. که عاملی ضروری برای شبیه‌سازی امکان کشت گونه‌های زراعی در آینده است (Hashemi & kiani, 2018).

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از با ارزش‌ترین گیاهان روغنی مناطق معتدله در دنیا مح سوب می‌گردد که برر سی امکان ک شت آن تحت شرایط تغییر اقلیم، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Everest et al., 2021). با توجه به اهمیت دستیابی به خود اتکایی کشور در بخش تأمین خوراک انسان و دام، تولید کلزا در ایران از بدو شروع فعالیت‌های ک شت دانه‌های روغنی، در برنامه‌های تو سعه مد نظر قرار گرفته و نیازمند مدیریت بلندمدت و پیش‌بینی امکان تو سعه کشت آن در آینده است.

برای تعیین نواحی مستعد کشت کلزا در استان کردستان، پژوهشی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی صورت گرفت که برای هریک از نیازهای اقلیمی لایه جداگانه‌ای تهیه شد. نتیجه نهایی بیانگر آن بود که تنها ۱۶/۸ در صد از م ساحت ارا ضی ا ستان، برای ک شت کلزا بسیار منا سب، ۵۳/۸ در صد از مساحت ا ستان نیز در درجه متو سط تا منا سب و حدود ۳۹/۴ در صد از مساحت ارا ضی ا ستان به‌دلیل شرایط نامناسب اقلیمی و محیطی، برای کشت نامناسب شناخته شدند (Khorshiddoust et al., 2011). به‌منظور پهنه‌بندی کلزا در ا ستان گلستان، از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[1] استفاده شد و نتایج نشان داد که ۲۱/۳۶ درصد اراضی استان برای تولید کلزا بسیار مستعد و ۳۵/۶ درصد مستعد هستند (Kazemi et al., 2012). به‌منظور پهنه‌بندی آگروکلیماتیک کاشت کلزا در استان ایلام با استفاده از AHP در محیط GIS، پس از بررسی داده‌های اقلیمی و داده‌های فیزیوگرافی مشخص شد که ۳۰/۵ درصد اراضی ایلام شرایط بدون محدودیت، ۹/۶۴ درصد محدودیت کم، ۳۶/۸۷ درصد محدودیت متوسط و ۳۰/۹۷ درصد دارای شرایط محدودیت زیاد برای کشت کلزا می‌باشند (Shahmoradi, 2011). با ا ستفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، اثر عوامل اقلیمی، توپوگرافی و شوری بر تناسب اراضی حوضه قره‌سوی استان گلستان جهت کشت گندم، مورد مطالعه قرار گرفت و اراضی در چهار پهنه بسیار مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب و نامناسب تق سیم‌بندی شدند که حدود ۵۱۷۰ هکتار (شش در صد) از م ساحت ارا ضی زراعی حو ضه قره سو و سه در صد از م ساحت کل ارا ضی حوضه، دارای تناسب مطلوبی جهت کشت گندم دیم بودند (Bidadi et al., 2015). در پژوهش دیگری در چهار حوضه استان گلستان، تناسب اراضی و امکان اجرای یک تناوب کلزا- سویا مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که تنها ۸۲/ ۱۱ درصد از کل اراضی مورد برر سی، برای اجرای تناوب کلزا- سویا بسیار منا سب، و مابقی ارا ضی در طبقه‌های تناسب متوسط و کم قرار گرفتند (Kamkar et al., 2014). ها شمی و کیانی (Hashemi & kiani, 2018) در پژوه شی به ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای کشت کلزا و چغندرقند با روش‌های متفاوت فائو در استان همدان پرداخته و اظهار داشتند که بیش از ۵۰ درصد اراضی مورد مطاله در محدوده نامناسب قرار داشتند. رو شنعلی و سبحانی (Sobhani & Roshanali, 2018) به سنجش تنا سب ارا ضی ا ستان مازندران برای ک شت کلزا بر ا ساس روش‌های ارزیابی تصمیم‌گیری چند معیاره در محیط GIS پرداخته و بیان کردند که اراضی بدون محدودیت ۱۵/۳درصد، با محدودیت کم ۲۸/۲ درصد، با محدودیت متوسط ۴۸/۲ درصد و با محدودیت زیاد ۸/۳ درصد از زمین‌های کشاورزی مازندران را تشکیل می‌دهند. در پژوهش دیگری تحت عنوان سنجش تناسب اراضی استان مازندران بر اساس عناصر اقلیمی برای ک شت کلزا با ا ستفاده از مدل Topsis، شهرهای ا ستان

1-Analytical Hierarchy process

در چهار کلاس از بدون محدودیت تا محدودیت زیاد، طبقه‌بندی شدند (Sobhani & Roshanali, 2018). در بررسی تناسب کشت دیم کلزا در استان گلستان با استفاده از مدل تجزیه و تحلیل چند معیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی، میزان تأثیرگذاری عوامل اقلیمی و شرایط خاکی را بر تناسب اراضی گزارش شد (Kazemi & Akinci, 2018).

در بررسی دقت مدل SDSM و Lars-WG برای وقایع حداکثر بارش در جنوب ایسلند و معیار توزیع آماری GEV3 با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در فاصله اطمینان ۰/۹۵ گزارش شد که هر دو مدل توانایی شبیه‌سازی وقایع مدل بارش را دارد (Hashemi et al., 2011). در پژوهشی کارایی مدل ریزمقیاس-ساز Lars-WG، داده‌های هواشناسی (دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰)، تحت سناریوهای مختلف با استفاده از آماره‌های متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفت و نشان دادند که این مدل دارای کارایی مناسبی برای شبیه سازی وضعیت اقلیمی آینده در منطقه مطالعه بود Karandish, (Darzi Naftchali & 2016). در مطالعه‌ای به مقایسه سه مدل Lars-WG، Weet herman و CLIMGEN در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در سه اقلیم مختلف گرگان، گنبد و مشهد پرداخته شد و نتایج حاکی از کارایی بهتر مدل Lars-WG در شبیه‌سازی پارامتر حداقل دما در منطقه‌های گرگان و مشهد بود و به‌طور کلی، هر سه مدل پارامتر دما را بهتر از سایر پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی کردند (Kamkar et al., 2014). مقایسه عملکرد روش‌های ریزمقیاس نمایی SDSM و Lars-WG در ایستگاه سد تنگاب در استان فارس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل حاکی از عدم برتری مطلق مدل‌ها بر یکدیگر است (Ajamzadeh & Mollainia, 2014). از آنجا که تغییر اقلیم به‌طور قطع شرایط کشت گیاه کلزا را نیز دستخوش تغییر خواهد کرد، بنابراین انجام پژوهش‌های متعدد جهت مدیریت هرچه بهتر تولید این محصول، ضروری به نظر می‌رسد، بنابراین در این تحقیق با استفاده از مدل‌های ریز مقیاس نمایی با هدف پیش بینی دما و بارش و بهره‌گیری از ابزارهایی چون سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی(AHP)، به پهنه‌بندی زراعی گیاه کلزا بر اساس شرایط اقلیمی پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۵۰ میلادی در استان مازندران پرداخته شده است (Kazemi et al., 2012). در همین راستا، در این پژوهش ابتدا دو مدل ریز مقیاس نمایی SDSM و Lars-WG با یکدیگر مقایسه شدند و در گام بعد از مدل برتر دماهای (حداقل، حداکثر) و بارش در سال ۲۰۵۰میلادی برآورد و با هدف پیش‌بینی امکان کشت و تهیه نقشه تناسب اراضی برای کشت کلزا بهره برده شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از داده‌های بلندمدت (۱۰ تا ۳۵ سال بسته به ایستگاه‌های مختلف و سوابق مشاهداتی متفاوت) از ۳۷ ایستگاه هواشناسی و سینوپتیک در محدوده استان‌های مازندران، گلستان، گیلان، سمنان و خراسان شمالی استفاده شده است. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است. در این تحقیق، ابتدا داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌ها جمع‌آوری شده و از نظر نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM با کمک مدل گردش عمومی Can_ESM2 که دارای دوره واسنجی NCEP-NCAR از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ و قابلیت پیش‌بینی دوره‌های ۳۰ ساله از سال ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ می‌باشد، بهره گرفته شد. در این پژوهش برای هر ایستگاه بسته به میزان سابقه اطلاعاتی هر ایستگاه دوره پایه متفاوتی در بازه زمانی موجود در مدل یعنی (۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵) در نظر گرفته شد و هر ایستگاه به صورت جداگانه مورد واسنجی قرار گرفت. همچین از مدل ریزمقیاس نمایی Lars-WG که با استفاده از مدل گردش عمومی HadGEM2-ES که دارای دوره‌های واسنجی متغیر و دوره های پیش‌بینی ۳۰ ساله است داده های اقلیمی با همان سناریوهای ذکر شده، تولید شد. دلیل انتخاب این دو مدل گردش عمومی (Can-ESM2 و HadGEM2-ES) معرفی آن به‌عنوان مدل مناسب در تحقیقات پیشین بوده است (;Khan et al., 2016 Hashemi et al., 2011). داده‌های تولیدی این دو مدل ریز مقیاس نمایی (Lars-WG و SDSM) قبل از اعمال سناریوها هرکدام با داده‌های مشاهده‌ای براساس آماره‌های میانگین مطلق خطا (MAE[1])، میانگین اریب خطا (MBE[2])، (Whitley & Ball, 2002) و ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE[3]) مقایسه شده و بهترین مدل‌ها برای هریک از دماهای حداقل، حداکثر و بارش انتخاب شد. این آماره‌ها محدوده‌ای بین صفر تا یک را شامل می شوند که هرچه اعداد

1- Mean Absolute Error
2- Mean Bias Error
3- Root Mean Square Error

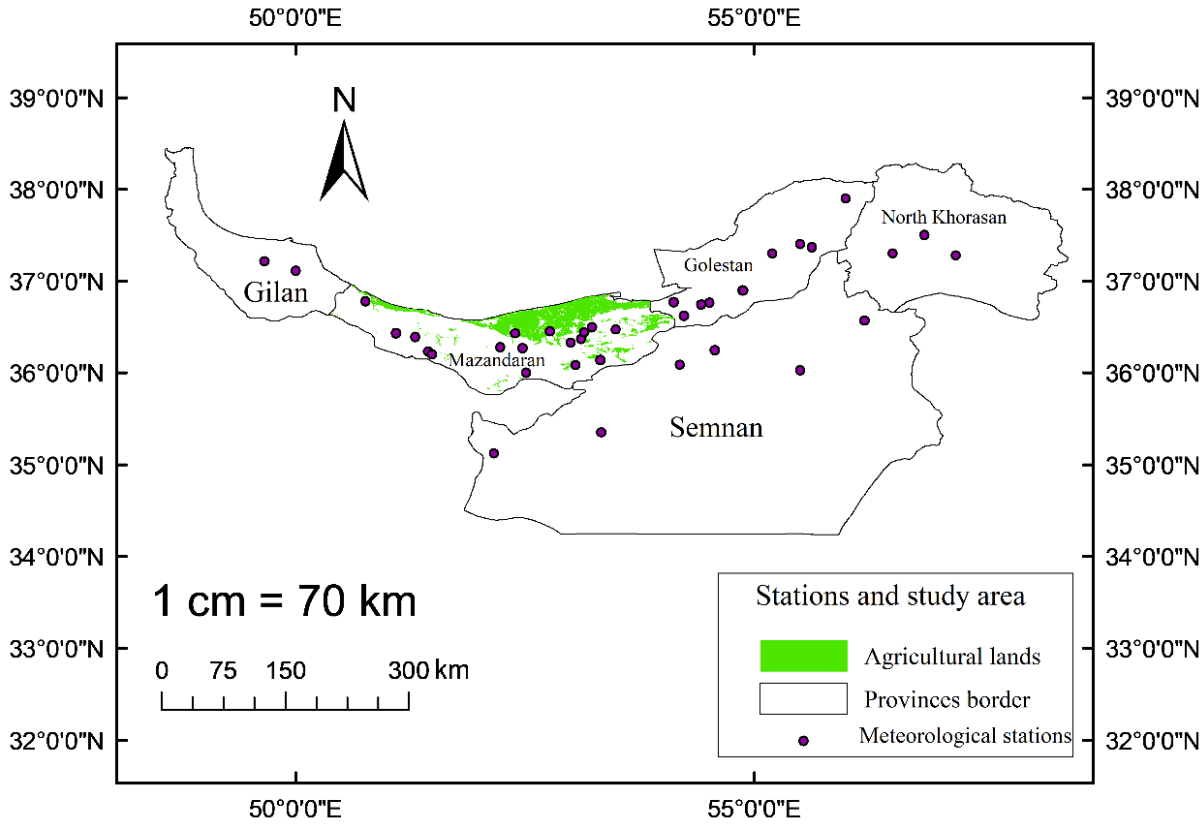
به صـــفر نزدیک‌تر باشـــد مدل تطابق بهتری نســـبت به داده‌های مشاهداتی دارد (Mozaffari et al., 2012).

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|Z^*(xi) - Z(xi)\right| \quad \text{معادله (۱)}$$

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Z^*(xi) - Z(xi)\right) \quad \text{معادله (۲)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}(Z(xi) - Z^*(xi)} \quad \text{معادله (۳)}$$

که در این معادلات، z*(xi): داده‌های پیش‌بینی شـــده و z(xi): داده‌های مشاهداتی می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی اراضی کشاورزی استان مازندران و ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

Fig. 1- Geographical location of Mazandaran agricultural lands and studied meteorological stations

داده های اقلیمی (د ما های حدا قل، حداکثر و بارش) در ســـه سناریوی RCP (2.6, 4.5, 8.5) با ا ستفاده از مدل ذکر شده در یک دوره ســی ســاله تا ســال ۲۰۵۰ میلادی تولید شـد. در این تحقیق از سناریوهایCMIP5، که در گزارش پنجم ارزیابی تغییر اقلیم (AR5) لحاظ شده‌اند، ا ستفاده شده ا ست. با ا ستفاده از داده‌های تولید شده توسـط مدل‌های پیش‌بینی تغییر اقلیم، لایه‌های رسـتری دما و بارش در محدوده زمانی فصـل رشـد کلزا تولید شـد. برای تولید این لایه‌ها داده‌های عددی پیش بینی شـــده تمامی ایســـتگاه‌ها با اســـتفاده از ابزار های م یان یابی موجود در ســـا ما نه اطلا عات جغراف یایی (GIS)[1]میان‌یابی شدند و سپس با ا ستخراج نقاط متناظر از روی این لایه‌های ر ستری و مقایسه آن با مقدار واقعی آن، صحت میان‌یابی با کمک آماره‌هایی چون ریشـــه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضـــر یب تبیین (R^2) اندازه‌گیری شـــد که از میان آن ها ابزار های میان‌یابی (IDW)[2] و Kriging که بهترین نتایج را از نظر مقایســـه آماره‌ها داشـتند، برای این منظور انتخاب شـدند. سـایر لایه‌های مورد نیاز برای تعیین تنا سب ارا ضی ک شت کلزا نیز به همین روش تهیه و

1-Geographic Information Systems

2- Inverse distance weighting

تولید شدند. لایه‌های اقلیمی و شوری و اسیدیته‌ی خاک (EC, pH) با استفاده از داده‌های نقطه‌ای که از منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری شده بود، با ابزارهای درون‌یابی ذکر شده تولید شدند از لایه‌های ارتفاع، شیب و جهت شیب از مدل رقومی ارتفاعی (Dem) با کیفیت ۳۰ متر تهیه شد. کلیه لایه‌های رستری تولید شده طبق محدوده کاربری زراعی با استفاده از ابزار (Extract by mask) برش داده شد و لایه‌های رستری برش داده شده با استفاده از ابزار Reclassify براساس نیاز اکولوژیکی گیاه کلزا کلاسه‌بندی شدند. نهایتاً تمامی این عوامل با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن‌دهی شدند که برای این کار پرسش‌نامه‌هایی تدوین و توسط ۳۰ متخصص زراعت شاغل در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و جهاد کشاورزی استان مازندران و همچنین اعضای هیئت علمی مرکز تحقیقات برنج شهرستان آمل تکمیل شد. برای محاسبه وزن هر یک از عوامل تأثیرگذار بر پهنه‌بندی فراخوانی شده، تجزیه و تحلیل و جمع‌بندی نتایج این پرسش‌نامه‌ها، به‌وسیله نرم‌افزار Expert Choice (نسخه ۲۰۰۰) انجام و ارزش نسبی هر عامل استخراج گردید. پس از تعیین اوزان، از روش روی‌هم‌گذاری وزنی لایه‌ها (Weighted overlay) جهت استخراج نقشه‌های نهایی استفاده شد (Kazemi et al., 2012). نمودار جریانی رسم شده در شکل ۲ نشان‌دهنده مراحل و روند این تحقیق است.

جدول ۱- طبقات مورد استفاده در تولید نقشه‌های عوامل اقلیمی مؤثر بر تناسب اراضی برای کشت کلزا (Kazemi et al., 2012; Makhdoom et al., 2011; Martin & Saha, 2009)

Table 1- Classes used in the generation of climatic factors maps for canola suitability assessment (Kazemi et al., 2012; Makhdoom et al., 2011; Martin & Saha, 2009)

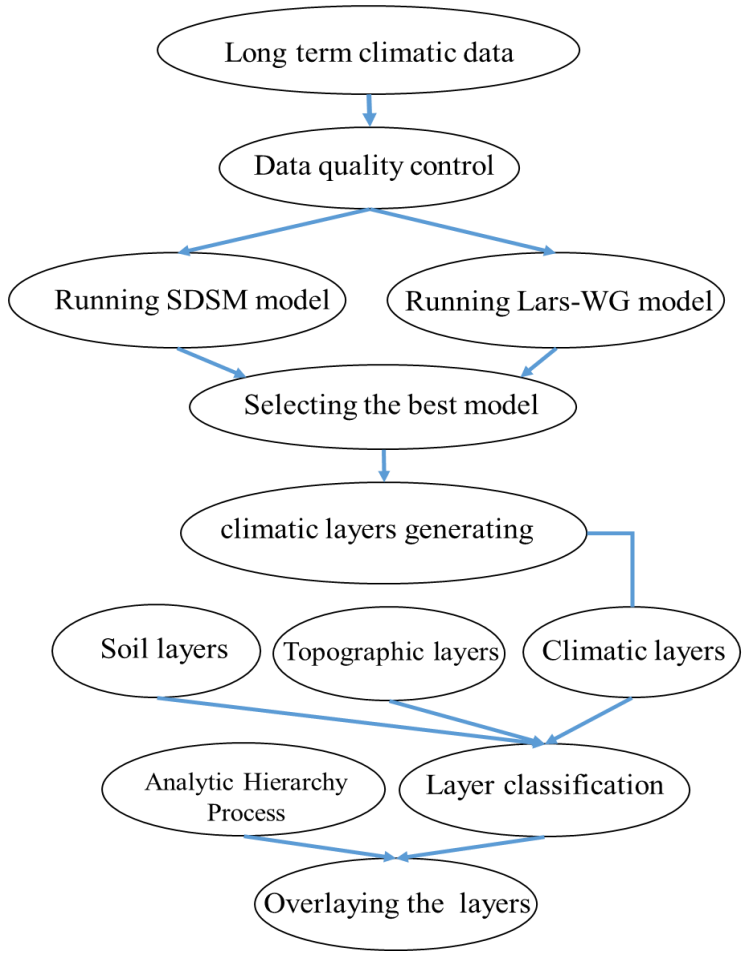
کلاسه Class	دمای بیشینه Maximum temperature (°C)	دمای کمینه Minimum temperature (°C)	دمای متوسط Average temperature (°C)	بارش Precipitation (mm)
خیلی مناسب Highly suitable	25-30	10-15	17-20	400-500
مناسب Suitable	30-33	7-10	15-17	300-400
نسبتاً مناسب Moderately-suitable	33-38	4-7	20-25	250-300
ضعیف Non-suitable	>38	<4	>25	<250

جدول ۲- طبقات مورد استفاده در تولید نقشه‌های عوامل خاکی و توپوگرافی مؤثر بر تناسب اراضی برای کشت کلزا (Kazemi et al., 2012; Makhdoom et al., 2011; Martin & Saha, 2009)

Table 2- Classes used in the generation of soil- and topographic factors maps for canola suitability assessment (Kazemi et al., 2012; Makhdoom et al., 2011; Martin & Saha, 2009)

کلاسه Class	ارتفاع Elevation (m)	شیب Slope (%)	جهت شیب Aspect	شوری EC ($dS.m^{-2}$)	اسیدیته pH
خیلی مناسب Highly suitable	0-1500	0-2.5	بدون‌جهت- جنوبی- جنوب‌شرقی Without direction South Southeast	0-4	6-7
مناسب Suitable	1500-2000	2.5-5	شرقی- شمال‌شرقی East Northeast	4-8	5.5-6 7-8
نسبتاً مناسب Moderately-suitable	2000-2500	5-7.5	جنوب‌غربی- شمال‌غربی Southwest Northwest	8-12	8-8.5

ضعیف Non-suitable	>2500	>7.5	غربی شمالی West North	>12	>8.5 <5



شکل ۲- نمودار جریانی مراحل و روند پژوهش
Fig. 2 - Flowchart of the work steps

نتایج و بحث

مقایسه مدل‌های پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم

مقایسه داده های تولیدی مدل های پیش بینی تغییر اقلیم با داده‌های مشاهداتی نشان داد که هیچکدام از مدل‌ها برتری مطلقی بر یکدیگر ندارند (جدول ۳، ۴ و ۵). ثابت شده است که مدل SDSM برای عامل دما در غالب ایستگاه‌ها MBE منفی را نشان می‌دهد که به‌معنای پیش‌بینی کمتر از واقعیت است. البته مقدار عددی این آماره در مدل Lars-WG بسیار بزرگ‌تر و مثبت بود که نشان از بیش‌برآوردی است، امّا بررسی کلی آماره‌ها نشان می‌دهد که مدل SDSM در پیش‌بینی دماهای بیشینه و کمینه نسبت به Lars-WG دارای خطای کمتری بوده و پیش بینی های نزدیک‌تری به داده های مشاهداتی داشته است. البته برای پیش‌بینی بارش مدل Lars-WG از خطای کمتری برخوردار بوده است و داده‌های مناسب‌تری برای تهیه لایه‌های اقلیمی تولید نمود.

تغییرات دمایی بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم

با مقایسه نقشه‌های حاصل از تغییرات دمای سطح استان مشاهده شد که هر دو عامل دمای کمینه و بیشینه با اعمال سناریوهای تغییر اقلیم، افزایش یافته‌اندکه این افزایش دما در دمای بیشینه مشهودتر بوده است (جدول ۶). البته نکته قابل توجه این است که این افزایش دما در آینده موجب نزدیک‌تر شدن دما به طبقات مطلوب‌تر در تقسیم‌بندی نیازهای اکولوژیک کلزا خواهد شد.

جدول ۳- مقایسه شبیه‌سازهای اقلیمی SDSM و Lars_WG برای دمای بیشینه ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 3- Comparison of SDSM and Lars_WG climate simulators for the maximum temperature of studied stations

نام ایستگاه Station	Lars-WG			SDSM		
	RMSE	MBE	MAE	RMSE	MBE	MAE
دشت ناز Dashtnaz	0.654	0.133	0.594	0.024	-0.0048	0.0178
قائمشهر Ghaemshahr	0.580	0.152	0.462	0.024	-0.011	0.018
قراخیل Gharakhel	0.567	0.147	0.450	0.024	-0.007	0.017
کیاسر Kiasar	0.680	-0.057	0.568	0.031	0.016	0.021
کجور Kojor	0.656	0.009	0.480	0.177	0.055	0.126
نوشهر Noshahr	0.662	-0.036	0.542	0.014	0.006	0.009
پل سفید Polsefid	0.684	0.033	0.529	0.033	-0.007	0.027
رامسر Ramsar	0.656	0.104	0.547	0.009	0.002	0.008
ساری Sari	0.648	0.122	0.529	0.022	-0.007	0.016
سیاه بیشه Siahbishe	0.676	0.033	0.550	0.292	-0.064	0.229
مینودشت Minodasht	0.524	-0.119	0.432	0.378	-0.284	0.295
کردکوی Kordkoy	0.468	0.166	0.362	0.445	0.069	0.223
هاشم اباد Hashemabad	0.523	-0.128	0.405	0.328	-0.177	0.271
گرگان Gorgan	0.717	-0.099	0.568	0.014	-0.001	0.011
کلاله Kalalehh	0.958	0.604	0.785	0.149	-0.009	0.118
مراوه تپه Maravetape	0.633	-0.044	0.487	0.191	-0.092	0.146
بندر ترکمن Bandar Torkman	0.742	0.104	0.568	0.153	-0.003	0.121
بندر امیراباد Bandar Amirabad	0.710	0.006	0.582	0.018	0.001	0.014
علی آباد Aliabad	0.860	-0.044	0.701	0.062	-0.035	0.045
آمل Amol	0.678	0.049	0.575	0.060	0.024	0.051
بابلسر Babolsar	0.632	0.081	0.521	0.018	-0.009	0.015
گنبد Gonbad	0.693	-0.139	0.576	0.026	0.013	0.021
بجنورد Bojnord	0.669	0.101	0.634	0.035	-0.004	0.015
اسفراین Esfarayn	0.595	0.120	0.502	0.035	-0.010	0.015

فرودگاه گرگان Gorgan Airport	0.582	0.115	0.490	0.035	-0.006	0.014
سمافان Samafan	0.695	-0.089	0.608	0.042	0.017	0.018
آلاشت Alasht	0.671	-0.023	0.520	0.188	0.056	0.123
آمیرآباد Amirabad	0.677	-0.032	0.582	0.025	0.007	0.006
بادله Badele	0.699	0.001	0.569	0.044	-0.006	0.024
رودسر Rodsar	0.671	0.072	0.587	0.020	0.003	0.005
لاهیجان Lahijan	0.663	0.090	0.569	0.033	-0.006	0.013
بایه کلا Bayekola	0.691	0.001	0.590	0.303	-0.063	0.226
بیارجمند Biarjmand	0.539	-0.151	0.472	0.389	-0.283	0.292
سمنان Semnan	0.463	0.134	0.402	0.456	0.070	0.220
شاهرود Shahrod	0.538	-0.160	0.445	0.339	-0.176	0.268
دامغان Damghan	0.732	-0.131	0.608	0.025	0.000	0.008
گرمسار Garmsar	0.173	0.572	0.825	0.160	-0.008	0.115

جدول ٤- مقایسه شبیه‌سازهای اقلیمی SDSM وLars_WG برای دمای کمینه ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 4- Comparison of SDSM and Lars_WG climate simulators for the minimum temperature of studied stations

نام ایستگاه	Lars-WG			SDSM		
Station	RMSE	MBE	MAE	RMSE	MBE	MAE
دشت ناز Dashtnaz	0.655	-0.032	0.534	0.016	-0.006	0.017
قائمشهر Ghaemshahr	0.571	0.139	0.444	0.027	-0.008	0.017
قراخیل Gharakhel	0.567	0.147	0.450	0.024	-0.007	0.017
کیاسر Kiasar	0.634	-0.072	0.536	0.020	0.009	0.016
کجور Kojor	0.600	0.009	0.501	0.091	0.021	0.072
نوشهر Noshahr	0.653	0.012	0.554	0.015	0.007	0.010
پل سفید Polsefid	0.637	-0.029	0.509	0.015	0.000	0.013
رامسر Ramsar	0.731	0.293	0.588	0.016	-0.004	0.013
ساری Sari	0.640	-0.022	0.512	0.015	-0.004	0.012
سیاه بیشه Siahbishe	0.615	-0.028	0.517	0.166	-0.043	0.125
مینودشت Minodasht	0.400	0.179	0.310	0.371	-0.147	0.169

کردکوی Kordkoy	0.417	0.098	0.344	0.313	-0.077	0.200
هاشم اباد Hashemabad	0.467	0.039	0.375	0.304	-0.185	0.256
گرگان Gorgan	0.686	-0.018	0.566	0.016	0.005	0.013
کلاله Kalalehh	0.927	0.658	0.702	0.043	-0.012	0.034
مراوه تپه Maravetape	0.472	-0.080	0.380	0.166	-0.080	0.132
بندر ترکمن Bandar Torkman	0.614	0.031	0.510	0.098	-0.016	0.073
بندر امیراباد Bandar Amirabad	0.686	-0.025	0.548	0.013	0.001	0.011
علی آباد Aliabad	0.447	0.033	0.367	0.014	0.002	0.011
آمل Amol	0.605	-0.009	0.488	0.021	-0.009	0.016
بابلسر Babolsar	0.758	0.313	0.613	0.012	-0.003	0.009
گنبد Gonbad	0.730	0.299	0.563	0.027	-0.008	0.021
بجنورد Bojnord	0.733	0.281	0.602	0.015	-0.002	0.011
اسفراین Esfarayn	0.642	-0.034	0.526	0.014	-0.002	0.010
فرودگاه گرگان Gorgan Airport	0.617	-0.04	0.531	0.165	-0.041	0.123
سمافان Samafan	0.402	0.017	0.324	0.370	-0.245	0.267
آلاشت Alasht	0.419	0.086	0.358	0.412	-0.075	1.198
آمیرآباد Amirabad	0.469	0.027	0.389	0.303	-0.183	0.254
بادله Badele	0.688	-0.03	0.58	0.015	0.007	0.011
رودسر Rodsar	0.929	0.646	0.716	0.042	-0.011	0.032
لاهیجان Lahijan	0.474	-0.092	0.394	0.165	-0.078	0.130
بایه کلا Bayekola	0.616	0.019	0.524	0.097	-0.014	0.071
بیارجمند Biarjmand	0.688	-0.037	0.562	0.012	0.003	0.009
سمنان Semnan	0.449	0.021	0.381	0.013	0.004	0.009
شاهرود Shahrod	0.607	-0.021	0.502	0.020	-0.007	0.014
دامغان Damghan	0.760	0.301	0.627	0.011	-0.001	0.007
گرمسار Garmsar	0.732	0.287	0.577	0.026	-0.006	0.019

جدول ۵- مقایسه شبیه‌سازهای اقلیمی SDSM وLars_WG برای تخمین بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 5 -Comparison of SDSM and Lars_WG climate simulators for precipitation forecasting in the studied stations

نام ایستگاه	Lars-WG			SDSM		
Station	RMSE	MBE	MAE	RMSE	MBE	MAE
دشت ناز Dashtnaz	0.292	-0.030	0.255	0.452	0.390	0.381
قائمشهر Ghaemshahr	0.223	-0.077	0.175	0.451	0.415	0.421
قراخیل Gharakhel	0.233	-0.074	0.174	0.457	0.405	0.405
کیاسر Kiasar	0.234	0.113	0.173	0.363	0.310	0.310
کجور Kojor	0.105	-0.014	0.082	0.219	0.168	0.169
نوشهر Noshahr	0.666	0.359	0.432	1.061	0.819	0.819
پل سفید Polsefid	0.198	0.031	0.161	0.451	0.369	0.369
رامسر Ramsar	0.640	0.237	0.434	1.110	0.847	0.847
ساری Sari	0.288	-0.029	0.235	0.422	0.385	0.385
سیاه بیشه Siahbishe	0.177	-0.006	0.126	0.351	0.283	0.283
مینودشت Minodasht	0.306	0.138	0.260	0.451	0.371	0.411
کردکوی Kordkoy	0.369	0.075	0.306	0.421	0.377	0.377
هاشم اباد Hashemabad	0.159	0.005	0.117	0.431	0.378	0.378
گرگان Gorgan	0.175	0.044	0.138	0.314	0.291	0.291
کلاله Kalaleh	0.035	0.001	0.106	0.052	0.037	0.139
مراوه تپه Maravetape	0.173	0.041	0.125	0.245	0.185	0.185
بندر ترکمن Bandar Torkman	0.185	0.038	0.135	0.349	0.280	0.280
بندر امیراباد Bandar Amirabad	0.241	0.006	0.183	0.427	0.353	0.353
علی آباد Aliabad	0.321	0.114	0.247	0.367	0.335	0.335
آمل Amol	0.326	0.106	0.238	0.401	0.366	0.366
بابلسر Babolsar	0.301	-0.095	0.232	0.519	0.406	0.406
گنبد Gonbad	0.415	-0.090	0.163	0.601	0.142	0.522
بجنورد Bojnord	0.149	0.028	0.168	0.155	-0.080	0.193
اسفراین Esfarayn	0.104	0.018	0.174	0.154	-0.077	0.203

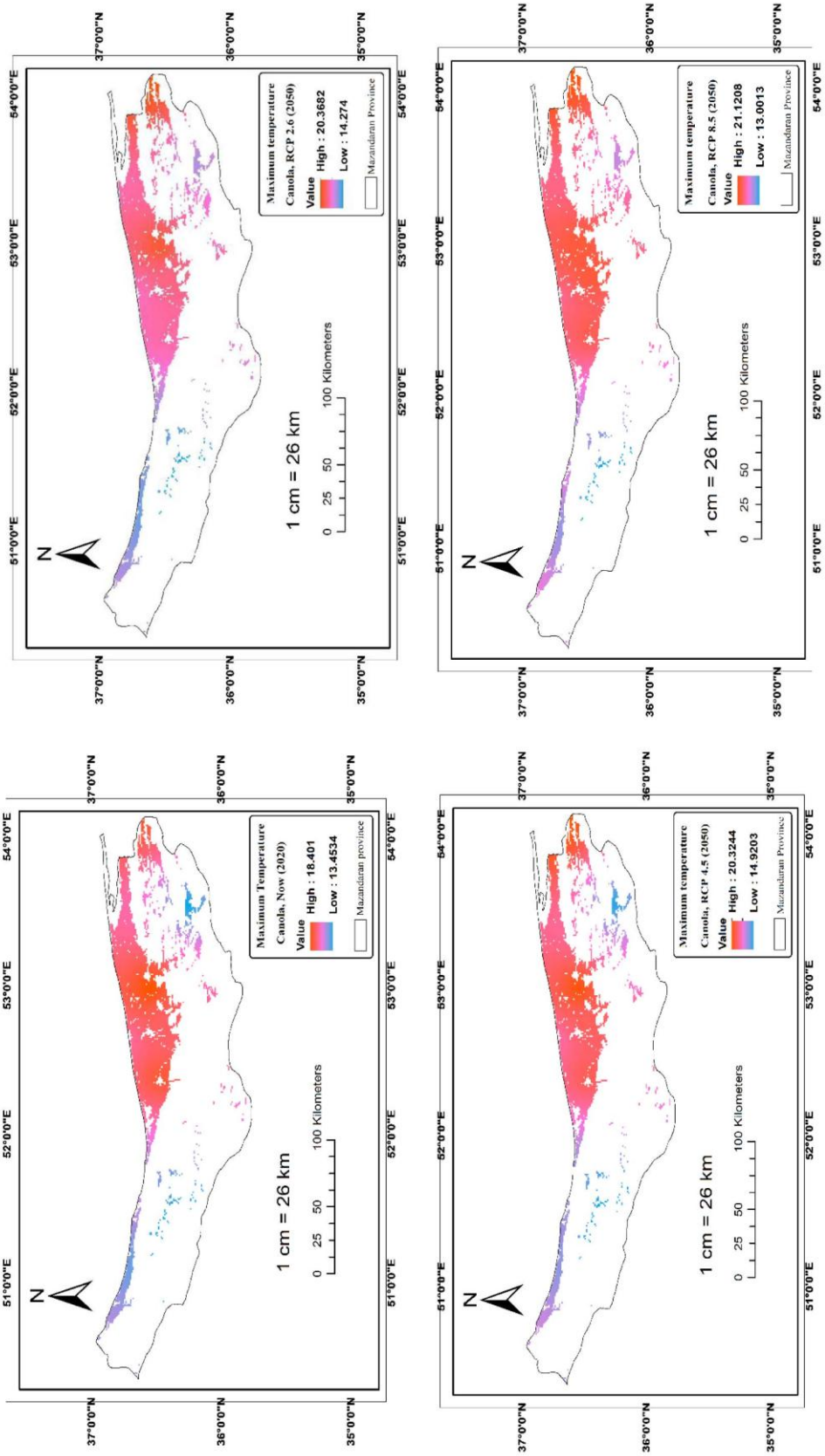
فرودگاه گرگان Gorgan Airport	0.143	0.123	0.138	0.153	0.140	0.204
سمافان Samafan	0.013	0.081	0.136	0.062	-0.017	0.075
آلاشت Alasht	0.063	0.132	0.078	0.412	0.356	0.636
آمیرآباد Amirabad	0.041	0.382	0.168	0.141	0.028	0.168
بادله Badele	0.079	0.160	0.127	0.414	0.234	0.161
رودسر Rodsar	0.077	0.198	0.139	0.215	-0.032	0.258
لاهیجان Lahijan	0.105	0.196	0.168	0.106	-0.009	0.147
بایه کلا Bayekola	0.171	0.184	0.168	0.240	0.135	0.276
بیارجمند Biarjmand	0.172	0.190	0.138	0.286	0.072	0.339
سمنان Semnan	0.185	0.191	0.148	0.097	0.002	0.159
شاهرود Shahrod	0.033	0.104	0.131	0.118	0.041	0.145
دامغان Damghan	0.079	0.050	0.069	0.086	-0.002	0.105
گرمسار Garmsar	0.096	0.198	0.162	0.105	0.038	0.163

جدول ٦- میانگین و تغییرات دماهای اصلی و بارش در سال ۲۰۵۰ نسبت به زمال حال درطول فصل رشد کلزا در استان مازندران

Table 6- Mean and change values of the main temperatures and precipitation in 2050 compared to current state during canola growing season in Mazandaran province

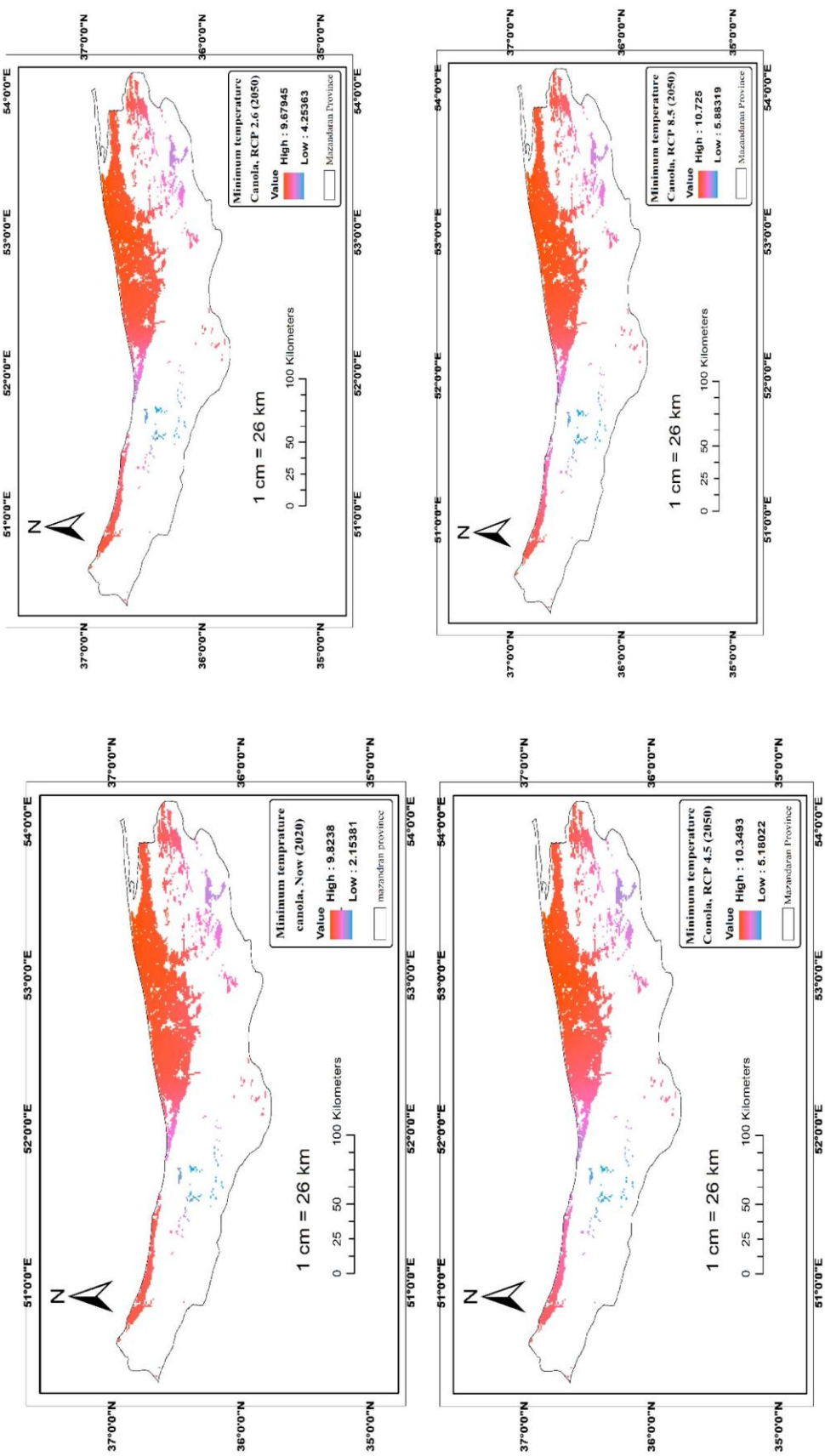
سناریوها Scenarios	تغییرات بارش Precipitation changes (mm) (ΔR)	مجموع بارش Total precipitation (mm)	تغییرات دمای بیشینه Maximum temperature changes (ΔTmax)	میانگین دمای بیشینه Average maximum temperature (°C)	تغییرات دمای کمینه Minimum temperature changes (ΔTmin)	میانگین دمای کمینه Averaged minimum temperature (°C)
زمان حال Current state	---	535.43	---	16.93	---	7.98
RCP 2.6	62.42 11.6 (%)	597.43	1.28 (°C) 7.5 (%)	18.21	0.89 (°C) 12.2 (%)	8.96
RCP 4.5	5.05 0.94 (%)	540.48	(°C)1.66 9.8 (%)	18.59	1.78 (°C) 22.3 (%)	9.76
RCP 8.5	-45.03 -8.4 (%)	490.40	2.63 (°C) 15.5 (%)	19.56	2.32 (°C) 29 (%)	10.30

نتایج در مورد میزان بارش نیز افزایش بارندگی در آینده را در دو سناریوی RCP 2.6 و 4.5 نشان می‌دهد که این افزایش بارندگی در سناریوی RCP 2.6 بیشتر بوده است، امّا در سناریوی RCP 8.5 کاهش بارندگی پیش‌بینی شده است. نتایج پراکندگی مکانی بارش در نقشه‌های تولید شده نشان داد که بارش‌ها در غرب محدوده مورد مطالعه تفاوت چندانی نخواهد داشت، امّا بارندگی مناطق شرقی و مرکزی در آینده کمی بیشتر خواهد بود (شکل ۵). نتایج مشابهی را برای مازندران و شمال نیوزلند نیز گزارش شد (Darzi Naftchali & Karandish, 2016; Hashemi et al., 2011)



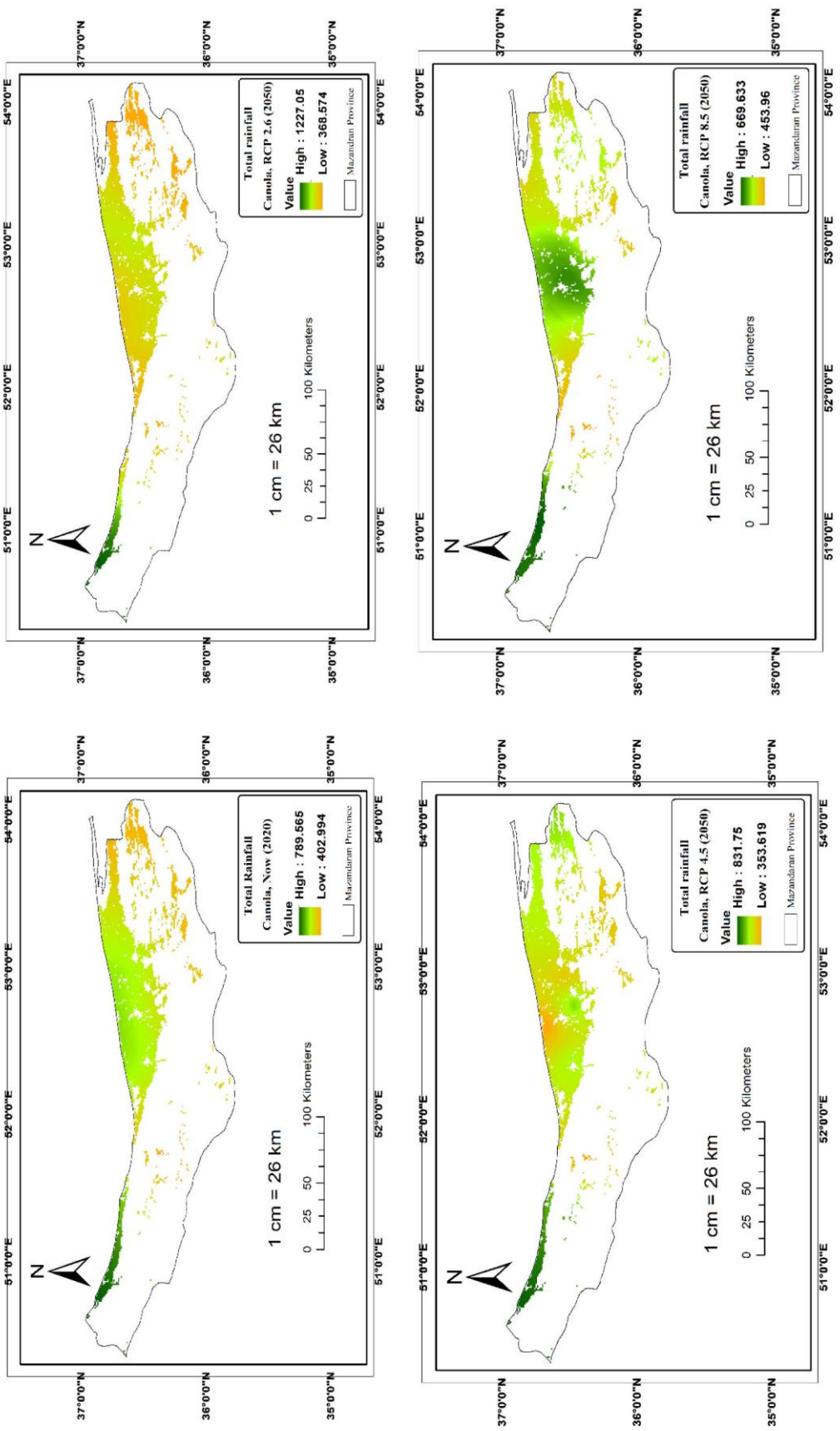
شکل ۳- نقشه‌های دمای بیشینه زمان حال و آینده (۲۰۵۰) در سناریوهای RCP 2.6, 4.5, 8.5 در طول فصل رشد کلزا

Fig. 3- Current and future (2050) maximum temperature maps in RCP scenarios 2.6, 4.5, 8.5 during canola growing season



شکل ٤- نقشه‌های دمای کمینه زمان حال و آینده (۲۰۵۰) در سناریوهای RCP 2.6, 4.5, 8.5 در طول فصل رشد کلزا

Fig. 4- Current and future (2050) minimum temperature maps in RCP scenarios 2.6, 4.5, 8.5 during canola growing season



شکل ۵- نقشه‌های میزان بارش در زمان حال و آینده (۲۰۵۰) در سناریوهای RCP 2.6, 4.5, 8.5 درطول فصل رشد کلزا

Fig. 5- Current and future (2050) precipitation maps in RCP scenarios 2.6, 4.5, 8.5 during canola growing season

نتایج تناسب اراضی زراعی تحت اثرات تغییر اقلیم

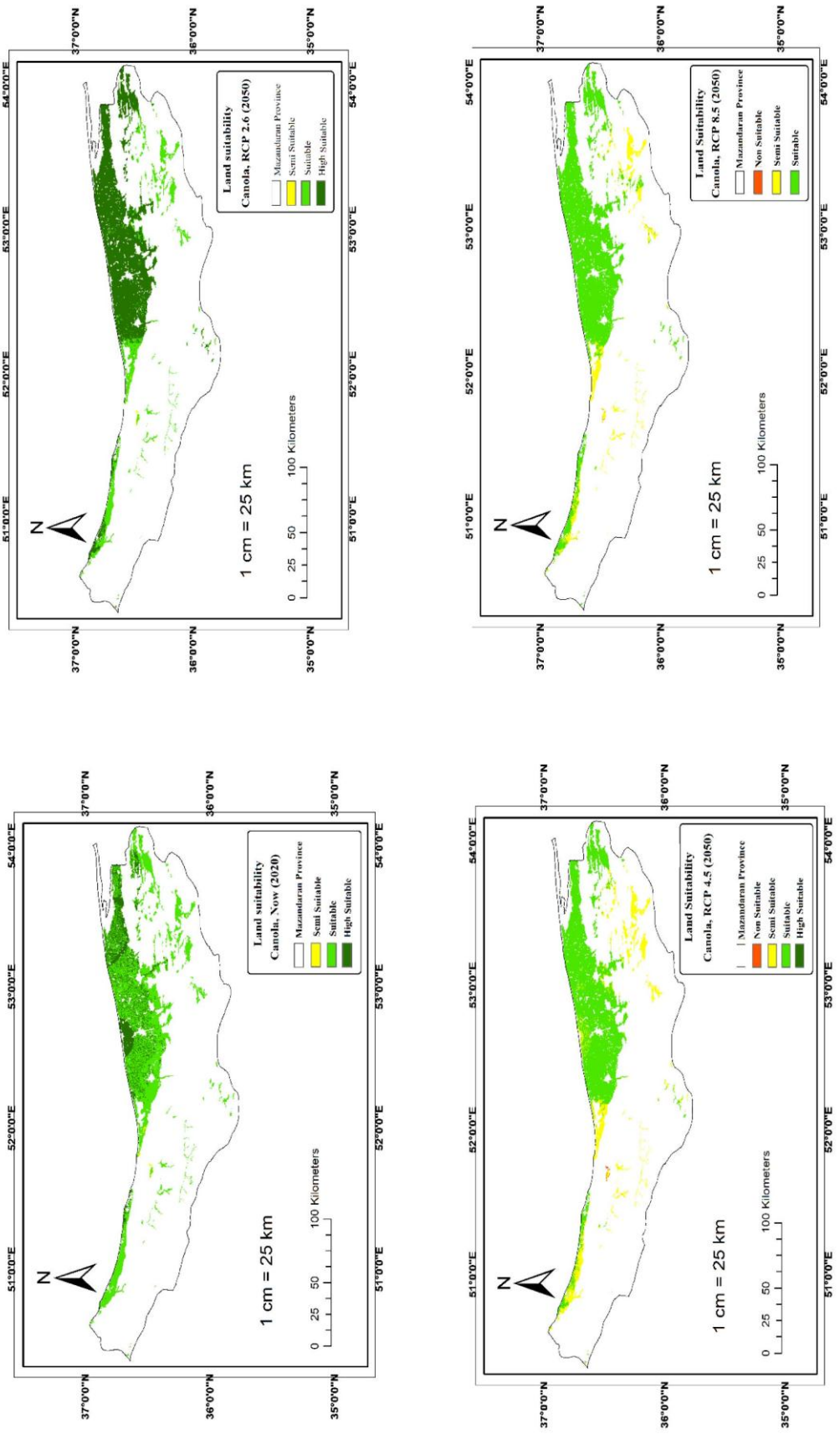
تناسب کشت کلزا در اراضی زراعی مازندران در زمال حال و سناریوی RCP 2.6 در سه کلاس تناسب، مناسب و خیلی مناسب قرار گرفت، امّا در دو سناریوی دیگر کلاس ضعیف هم دیده شد. نتایج (شکل ۷) نشان داد که در زمال حال، مساحت زیادی از اراضی مازندران (۷۴/۴۵ درصد اراضی)، درکلاس مناسب قرار دارند. در سناریوی RCP 2.6 اراضی به سمت کلاس خیلی مناسب میل می‌کند و ۷۷/۲۶ درصد اراضی را شامل می‌شود، که این اتفاق را می‌توان به افزایش میزان بارش در فصل رشد نسبت داد. در سناریوی RCP 8.5 کلاسی خیلی مناسب مشاهده نشد، بنابراین بررسی تناسب اراضی در آینده با سناریوهای بدبینانه و حد وسط نشان داد که برای کشت کلزا در این سناریوها از کلاس مناسب و خیلی مناسب کاسته شده و به سطح اراضی با کلاس ضعیف افزوده خواهد شد. با اجرای سناریوهای تغییر اقلیم اراضی مرکزی و شمالی که شامل شهرستان‌هایی چون ساری، قائمشهر، بابل، آمل و بابلسر و بخش‌های نزدیک به این شهرها برای کشت کلزا در کلاسه بهتر نسبت به زمان حال قرار می‌گیرند و اراضی جنوبی مانند اراضی جنوب شهرستان‌های نکا و بهشهر و غربی مانند اراضی شهرستان‌های نور، نوشهر در کلاس‌های ضعیف‌تر قرار خواهند گرفت. اورست و همکاران (Everest et al., 2021)، کاظمی و آکینسی (Kazemi & Akinci, 2018) و همچنین آگور (Aguiar et al., 2018) در تحقیقاتی مشابه تغییر کلاسه‌های تناسب اراضی بر اثر تغییر دماهای اصلی و بارش را تأیید نمودند.

با بررسی نقشه‌های تغییرات دما و بارش و همچنین مطابقت آن با نقشه‌های تناسب اراضی اثبات شد که افزایش دما شرایط را برای اراضی زراعی شمالی و مرکزی استان به سمت دمای مطلوب‌تر برای رشد و نمو کلزا به پیش خواهد برد. دمای هوای مازندران در فصل رشد کلزا که عموماً در پاییز و زمستان است، غالباً در محدوده نسبتاً مناسب اکولوژیک قرار می‌گیرد، بنابراین کمی گرمتر شدن هوا شرایط را برای رشد و امکان کشت این محصول مطلوب‌تر می‌کند. از طرفی، نتایج نشان داد که افزایش بارندگی در سناریوی خوش‌بینانه RCP 2.6 همراه با این افزایش دما موجب افزایش ۵۲/۱۱ درصدی در مساحت اراضی خیلی مناسب نسبت به زمان حال شده است. عدم وجود یخبندان زمستانه، وجود بارش‌های به نسبت کافی و همچنین نزدیک بودن دمای هوا در طول فصل رشد به دمای مطلوب گیاه کلزا موجب شده است که درصد بالایی از اراضی در طبقه خیلی مناسب و مناسب قرار بگیرند. نتایج مبیّن آن بود که افزایش همزمان دما و کاهش بارش در سناریوی RCP 8.5 شرایط را برای کشت کلزا محدودتر خواهد کرد که بروز اراضی با تناسب ضعیف در آینده را به همراه خواهد داشت (Favi et al., 2022). سبحانی و روشنعلی (Sobhani & Roshanali, 2018) با چند روش مشابه نتایج نزدیکی با یافته‌های این تحقیق برای استان مازندران گزارش نمودند.

جدول ۷- مساحت و درصد تناسب‌های مختلف جهت کشت کلزا در اراضی کشاورزی استان مازندران

Table 7- Area and total share of each suitability class for canola cultivation in agricultural lands of Mazandaran province

سناریوها Scenarios	طبقات تناسب اراضی برای کشت کلزا Land suitability classes for canola cultivation							
	ضعیف Non-suitable		نسبتاً مناسب Moderately- suitable		مناسب Suitable		خیلی مناسب Highly suitable	
	هکتار Hectares	درصد Percent	هکتار Hectares	درصد Percent	هکتار Hectares	درصد Percent	هکتار Hectares	درصد Percent
زمان حال Current state	---	---	2092	0.39	391475	74.45	132238	25.15
RCP 2.6	---	---	1334	0.25	118200	22.47	406326	77.26
RCP 4.5	895	0.17	105772	20.11	419184	79.71	3	0.0004
RCP 8.5	315	0.06	68248	12.97	457290	86.96	---	---



شکل ٦- نقشه تناسب اراضی زراعی استان مازندران برای کشت کلزا در زمان حال و آینده (۲۰۵۰)

Fig. 6- Land suitability map for current and future canola cultivation (2050) in Mazandaran province

نتیجه‌گیری

مقایسه مدل‌های پیش‌بینی تغییر اقلیم نشان داد که مدل SDSM در پیش‌بینی دماهای اصلی موفق‌تر بوده است، امّا برای پیش‌بینی میزان بارش مدل Lars-WG عملکرد بهتری داشت. با بررسی پیش‌بینی مدل‌های مورد مطالعه مشاهده شد که در تمامی سناریوها، دمای کمینه و بیشینه افزایش خواهد داشت، در حالی که میزان بارش در سناریوی RCP 8.5 کاهشی و در سایر سناریوها افزایشی خواهد بود. خروجی نقشه تناسب اراضی برای شرایط حال و آینده نیز به وضوح نشان داد که تغییر متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه در آینده موجب تغییر در تناسب اراضی زراعی مورد مطالعه خواهد شد. همچنین با اجرای سناریوی تغییر اقلیم پراکندگی مکانی و مساحت طبقات مختلف کمی دچار تغییر شد، به‌گونه‌ای که با اجرای سناریوی RCP 2.6 مساحت اراضی طبقه خیلی مناسب افزایش یافته و گسترش آن به سمت مرکز استان بوده است. در سناریوهای RCP 8.5 و RCP 4.5 اراضی با طبقه تناسب خیلی مناسب وجود نخواهد داشت و به سمت طبقات با تناسب ضعیف سوق داده خواهند شد و دامنه گسترش این طبقات به سمت اراضی جنوبی و غربی کشیده خواهد شد. به‌طور کلی، در سناریوی خوش‌بینانه تناسب اراضی برای کشت کلزا شرایط بهتر و پهنه وسیع‌تری خواهد یافت و در سناریوهای دیگر شرایط برای کشت کلزا در اراضی مازندران نسبت به زمان حال ضعیف‌تر خواهد شد و این کاهش کیفیت در اراضی غربی و جنوبی استان مشهودتر است. بنابراین، راهکارهایی چون استفاده از ارقام سازگارتر و تغییر در مدیریت زراعی در رویارویی با شرایط جدید در این مناطق باید مورد توجه قرار گیرد.

References

1. Aguiar, F., Bentz, J., Silva, J., Fonseca, A., Swart, R., DuarteSantos, F., & Lopes, G., (2018). Adaptation to climate change at local level in Europe: An overview. *Environmental Science and Policy*, 86, 38-63. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.04.010
2. Ajamzadeh, A., & Mollainia, M., (2014). Comparison of performance of SDSM and Lars-WG microscopic methods Case study: Tangab Dam Station, Fars province, First National Environmental Conference, Isfahan, Iran. (In Persian with English Summary)
3. Bidadi, M., Kamkar, B., Abdi, O., & Kazemi, H., (2015). Land suitability analysis on rainfed wheat cropping using geospatial information systems (A case study: Qaresoo basin). *Journal of Agricultural Science (University of Tabriz)*, 25, 131-143. (In Persian with English Summary)
4. Darzi Naftchali, A., Karandish, F., (2016). Rice Cultivation management in Mazandaran province under climate change. *Formerly Soil and Water Science*, 3, 333-346. (In Persian with English Summary)
5. Everest, T., Koparan, H., Sungur, A., & Ozcan, H., (2021). An important tool against combat climate change: Land suitability assessment for canola (a case study: Çanakkale, NW Turkey). *Environment, Development and Sustainability*, 171, 1-14. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01985-x
6. Favi, G.A., Dassou, G.H., Agounde, G., Marie-Ange, J., Ouachinou, S., Djidohokpin, D., Cossi Adomou, A., Yédomonhan, H., Tossou, G., & Akoègninou, A., (2022). Current and future distribution pet tern of *Cochlospermum planchonii and Cochlospermum tinctorium* in Benin (West Africa), in response to climate change. *Scenario Modeling Earth Systems and Environment*, 8, 773–786. https://doi.org/10.1007/s40808-021-01109-4
7. Hajarpoor, A., Yousefi, M., & Kamkar, B., (2014). Accuracy assessment of weather assimilators of CLIMGEN, LARS-WG and weather man in assimilation of three different climatic parameters of three different climate (Gorgan, Gonbad and Mashhad). *Geography and Development*, 35, 201-216. (In Persian with English Summary)
8. Hashemi, S., Kiani, F., (2018). Qualitative land suitability evaluation for canola and sugar beet cultivations with FAO different methods (Gyan Area, Hamadan Province). *Applied Soil Research*, 5, 16-30. (In Persian with English Summary)
9. Hashemi, M., Shamseldin, A., & Melville, B., (2011). Comparison of SDSM and LARSWG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25, 475-484.
10. Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shetaee, S., & Sadeghi, S., (2012). Agroecological zoning of agricultural lands in Golestan province for canola cultivation by Geographic Information System (GIS) and

Analytical Hierarchy Process (AHP). *Electronic Journal Of Crop Production*, 5, 123-139.

11. Kazemi, H., & Akinci, H., (2018). A land use suitability model for rained farming by Multi-criteria Decision-making Analysis (MCDA) and Geographic Information System (GIS). *Ecological Engineering*, 166, 1-6. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.02.021
12. Khan, M.S., Coulibaly, P., & Dibike, Y., (2016). Uncertainty analysis of statistical downscaling methods, *Journal of Hydrology*, 319, 357-382
13. Khorshiddoust, A., Hosseini, A., & Mohammadpour, K., (2011). Suitable site selection for canola cultivation in Kurdestan province using geographical information system (Gis). *Water and Soil Science*, 21 37-48. (In Persian with English Summary)
14. Koocheki, A., Nassiri Mahalleti, M., & Jafari, L., (2015). Evaluation of climate change effect on agricultural production of Iran: I. Predicting the future agroclimatic conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13, 651-664. (in Persian with English Summary)
15. Makhdoom, M., Darvish Sefet, A., Jafarzadeh, H., & Makhdoom, A., (2011). Environmental Evaluation and Planning by Geographic Information System. University of Tehran Press, Iran. 304 p
16. Martin, D., & Saha, S.K., (2009). Land evaluation by integrating remote sensing and GIS for cropping system analysis in a watershed. *Current Science*, 96, 569-575.
17. Mozaffari, G., Mir Mousavi, H., & Khosravi, M., (2012). The assessment of geostatistic methods and linear regression in order to specify the spatial distribution of annual precipitation case study: Boushehr province. *Journal of Geography and Development*, 27, 93-79. (In Persian with English Summary)
18. Shahmoradi, I., (2011). Agro-climatic zonation of canola cultivation using AHP in GIS environment in Ilam province, M.Sc. Thesis in Natural Geography, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. (In Persian with English Summary)
19. Sobhani, B., & Roshanali, M., (2018). Land suitability assessment of Mazandaran Province for canola cultivation based on multi-criteria decision making evaluation methods In GIS environment. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 8, 129-148. (In Persian with English Summary)
20. Whitley, E., & Ball, J., (2002). Statistics review 1: Presenting and summarising data. *Crit Care*, 6, 66–71. DOI: 10.1186/cc1455

Contents

Evaluation of Water Use Efficiency in Intercropping of Sunflower (*Helianthus annuus* L.), Cotton (*Gossypium* spp.), and fodder Beet (*Beta vulgaris* subsp. vulgaris L.) based on the Traditional Pattern of Planting in Khorasan **643**
Alireza Koocheki, Mehdi Nassiri Mahallati, Maryam Javadi and Seyyed Jalil Davarpanah

Effect of Foliar Application of Urea, Proline, and Ascorbic Acid on Some Physiological Characteristics and Yield of Forage of Yellow Sweet Clover (*Melilotus officinalis* L.) under Salinity **665**
Sajjad Rahimi, Alireza Pirzad and Jalal Jalilian

Morpho-Physiological and Yield Responses of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) to Foliar Application of Methyl Jasmonate and Salicylic Acid under Drought Stress **683**
Mohamad Forouzandeh, Soheil Parsa , Ali Izanloo and Sohrab Mahmoudi

Response of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) to Plant Nutrition Systems in the Soil under Foliar Spraying by Amino Fish AMI-16, Fulvic Acid, and Microfertilizer **699**
Bahman Shojaei Kalajahi, Vahid Sarabi and Kambiz Azizpour

Interaction Effect of Chemical and Bio-Fertilizers and Deficit Irrigation on Yield and Yield Components of Sweet Corn (*Zea mays* L. Var saccharata) and Some Soil Biological Activity Indices **723**
Amir Atlasroody, Seyed Abdolreza Kazemeini, Mohammad Jafar Bahrani and Mozhgan Sepehri

Environmental Sustainability Assessment of Two Crop Ecosystems with Ecological Footprint Analysis Approach (Case Study: Dez Catchment) **739**
Nasim Zadehdabagh, Seyed Massoud Monavari, Nargess Kargari, Lobat Taghavi and Saeid Pirasteh

Investigating the Trend of Long-Term Changes in Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Watermelon (*Citrullus lanatus*) Water Footprints in Sistan and Baluchestan with Mann Kendall Trend Test **755**
Vida Varnaseri Ghandali, Mahmoud Ramroudi, Fatemeh Karandish, Mohammad Galavi and Tohid Aligholinia

Improving the Quantitative, Qualitative, and Agronomic Phosphorus Efficiency of Soybean (*Glycine max* L.) **769**
Sadegh Vahdat Masoud and Mohammad Ali Aboutalebian

Effect of Application of Different Levels of Chemical Fertilizers and Pelleted Poultry Manure on Yield and Quality of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Nuts under Sanandaj Conditions **789**
Ahmad Naseri [1] and Gholamreza Heidari

Environmental Impact Quotient (EIQ) Evaluation of Used Pesticides in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Fields of Bandar-e-Turkeman County, Golestan Province **809**
Maral Niazmoradi, Hossein Kazemi, Javid Gherekhloo, Afshin Soltani and Behnam Kamkar

Simulation of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Root Yield and Water Productivity in Response to Different Sowing Date and Irrigation Treatments Using SUCROS Model **825**
Esmaeil Mohammadi-Ahmadmahmoudi and Sajjad Rahimi-Moghaddam

Predicting the Effect of Climate Change on the Suitability of Canola (*Brassica napus* L.) Cultivation Land using SDSM and Lars-WG Models in Mazandaran Province **843**
Mohsen Abshenas, Behnam Kamkar, Afshin Soltani and Hossein Kazemi

Journal of Agroecology (Quarterly)

Vol. 15 No. 4 2024

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. 15 No. 4

2024

ISSN: 2008-7713

Contents

Evaluation of Water Use Efficiency in Intercropping of Sunflower (*Helianthus annuus* L.), Cotton (*Gossypium* spp.), and fodder Beet (*Beta vulgaris* subsp. vulgaris L.) based on the Traditional Pattern of Planting in Khorasan 643
Alireza Koocheki, Mehdi Nassiri Mahallati, Maryam Javadi and Seyyed Jalil Davarpanah

Effect of Foliar Application of Urea, Proline, and Ascorbic Acid on Some Physiological Characteristics and Yield of Forage of Yellow Sweet Clover (*Melilotus officinalis* L.) under Salinity 665
Sajjad Rahimi, Alireza Pirzad and Jalal Jalilian

Morpho-Physiological and Yield Responses of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) to Foliar Application of Methyl Jasmonate and Salicylic Acid under Drought Stress 683
Mohamad Forouzandeh, Soheil Parsa , Ali Izanloo and Sohrab Mahmoudi

Response of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) to Plant Nutrition Systems in the Soil under Foliar Spraying by Amino Fish AMI-16, Fulvic Acid, and Microfertilizer 699
Bahman Shojaei Kalajahi, Vahid Sarabi and Kambiz Azizpour

Interaction Effect of Chemical and Bio-Fertilizers and Deficit Irrigation on Yield and Yield Components of Sweet Corn (*Zea mays* L. Var saccharata) and Some Soil Biological Activity Indices 723
Amir Atlasroody, Seyed Abdolreza Kazemeini, Mohammad Jafar Bahrani and Mozhgan Sepehri

Environmental Sustainability Assessment of Two Crop Ecosystems with Ecological Footprint Analysis Approach (Case Study: Dez Catchment) 739
Nasim Zadehdabagh, Seyed Massoud Monavari, Nargess Kargari, Lobat Taghavi and Saeid Pirasteh

Investigating the Trend of Long-Term Changes in Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Watermelon (*Citrullus lanatus*) Water Footprints in Sistan and Baluchestan with Mann Kendall Trend Test 755
Vida Varnaseri Ghandali, Mahmoud Ramroudi, Fatemeh Karandish, Mohammad Galavi and Tohid Alighalinia

Improving the Quantitative, Qualitative, and Agronomic Phosphorus Efficiency of Soybean (*Glycine max* L.) 769
Sadegh Vahdat Masoud and Mohammad Ali Aboutalebian

Effect of Application of Different Levels of Chemical Fertilizers and Pelleted Poultry Manure on Yield and Quality of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Nuts under Sanandaj Conditions 789
Ahmad Naseri [1] and Gholamreza Heidari

Environmental Impact Quotient (EIQ) Evaluation of Used Pesticides in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Fields of Bandar-e-Turkeman County, Golestan Province 809
Mural Niazmoradi, Hossein Kazemi, Javid Gherekhloo, Afshin Soltani and Behnam Kamkar

Simulation of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Root Yield and Water Productivity in Response to Different Sowing Date and Irrigation Treatments Using SUCROS Model 825
Esmaeil Mohammadi-Ahmadmahmoudi and Sajjad Rahimi-Moghaddam

Predicting the Effect of Climate Change on the Suitability of Canola (*Brassica napus* L.) Cultivation Land using SDSM and Lars-WG Models in Mazandaran Province 843
Mohsen Abshenas, Behnam Kamkar, Afshin Soltani and Hossein Kazemi