نشریه علمی
بـوم شنـاسی کشاورزی (فصلنامه)

جلد ۱۶ شماره ۱
بهار ۱۴۰۳

(شماره پیاپی ۵۹)

شاپا: ۲۰۰۸-۷۷۱۳

عنوان مقالات

ارزیابی صفات کیفی شلغم علوفه‌ای (*Brassica rapa* var. *rapa*) در کشت مخلوط با ریحان (*Ocimum basilicum*) تحت تأثیر کاربرد بیوچار و ورمی‌کمپوست ۳
روما کلهر منفرد، محمد رضا اردکانی، فرزاد پاک‌نژاد، منصور سراجوقی و حسنعلی نقدی بادی

اثر انواع خاک‌ورزی بر خصوصیات مورفو- فیزیولوژیکی و کیفیت علوفه گیاه ماشک گل سفید (*Vicia pannonica*) در شرایط دیم ۲۱
سید شهرام الیاسی، علیرضا پیرزاد، جلال جلیلیان، ابراهیم روحی و عادل سی و سه مرده

تأثیر مایه‌زنی بذر با قارچ‌ریشه *Funneliformis mosseae* بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط تنش شوری ۴۹
فاطمه السادات قابوس، سید عبدالرضا کاظمینی و مهدی زارعی

اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد و مراحل فنولوژیکی گیاه سیب‌زمینی (مطالعه موردی: جنوب استان کرمان) ۶۵
فاطمه بیاتانی و کرامت نژادافضلی

ارزیابی اثر جهت‌های کاشت بر مصرف منابع و عناصر غذایی خاک در کشت مخلوط آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) ۸۳
الهام وزیری، مهدی دهمرده و عیسی خمری

تأثیر کود دامی و اسید هیومیک بر برخی صفات فیزیولوژیک پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) در شرایط شوری آب آبیاری ۹۹
محبوبه سردار، محمدعلی بهدانی، سیدوحید اسلامی و غلامرضا زمانی

اثر سیستم‌های تغذیه شیمیایی و غیر شیمیایی بر برخی صفات رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) رقم هاشمی- مطالعه موردی در شهرستان لاهیجان استان گیلان ۱۱۷
علیرضا نصرتی، حمیدرضا دورودیان، سیروس بیدریغ، سید مصطفی صادقی و مجید عاشوری

اثر سطوح مختلف کود مرغی پلیت شده و کود شیمیایی بر عملکرد دانه و کیفیت علوفه ذرت (*Zea mays* L.) ۱۳۱
سارا دارابی، غلامرضا حیدری، شیوا خالص‌رو و حسین جهانی‌عزیزآبادی

تأثیر عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) بر عملکرد کمی و کیفی سویا ۱۴۹
صفیه عرب ، مهدی برادران فیروزآبادی، احمد غلامی و مصطفی حیدری

ارزیابی و پایش پایداری اکولوژیکی بوم‌نظام‌های زراعی تولید روغن در سیستان با استفاده از تکنیک‌های تحلیل امرژی و اقتصادی ۱۶۱
نرگس پردل، محمدرضا اصغری پور و اسماعیل سیدآبادی

اثر برخی از محرک‌های رشد گیاهی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بادرنجبویه (*Melissa officinalis*. L) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری ۱۸۳
مصطفی یاسینی، سوران شرفی و سامان یزدان ستا

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.

جلد۱۶ شماره۱ بهار ۱۴۰۳

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

اعضای هیئت تحریریه (به‌ترتیب حروف الفبا)

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

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

این نشریه در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:
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 صفات کیفی شلغم علوفه‌ای (*Brassica rapa* var. *rapa*) در کشت مخلوط با ریحان (*Ocimum basilicum*) تحت تأثیر کاربرد بیوچار و ورمی‌کمپوست ۳

روما کلهر منفرد، محمد رضا اردکانی، فرزاد پاک‌نژاد، منصور سراجوقی و حسنعلی نقدی بادی

اثر انواع خاک‌ورزی بر خصوصیات مورفو- فیزیولوژیکی و کیفیت علوفه گیاه ماشک گل سفید (*Vicia pannonica*) در شرایط دیم ۲۱

سید شهرام الیاسی، علیرضا پیرزاد، جلال جلیلیان، ابراهیم روحی و عادل سی و سه مرده

تأثیر مایه‌زنی بذر با قارچ‌ریشه *Funneliformis mosseae* بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط تنش شوری ۴۹

فاطمه السادات قابوس، سید عبدالرضا کاظمینی و مهدی زارعی

اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد و مراحل فنولوژیکی گیاه سیب‌زمینی (مطالعه موردی: جنوب استان کرمان) ۶۵

فاطمه بیاتانی و کرامت نژادافضلی

ارزیابی اثر جهت‌های کاشت بر مصرف منابع و عناصر غذایی خاک در کشت مخلوط آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) ۸۳

الهام وزیری، مهدی دهمرده و عیسی خمری

تأثیر کود دامی و اسید هیومیک بر برخی صفات فیزیولوژیک پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) در شرایط شوری آب آبیاری ۹۹

محبوبه سردار، محمدعلی بهدانی، سیدوحید اسلامی و غلامرضا زمانی

اثر سیستم‌های تغذیه شیمیایی و غیر شیمیایی بر برخی صفات رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) رقم هاشمی- مطالعه موردی در شهرستان لاهیجان استان گیلان ۱۱۷

علیرضا نصرتی، حمیدرضا دورودیان، سیروس بیدریغ، سید مصطفی صادقی و مجید عاشوری

اثر سطوح مختلف کود مرغی پلیت شده و کود شیمیایی بر عملکرد دانه و کیفیت علوفه ذرت (*Zea mays* L.) ۱۳۱

سارا دارابی، غلامرضا حیدری، شیوا خالص‌رو و حسین جهانی‌عزیزآبادی

تأثیر عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) بر عملکرد کمی و کیفی سویا ۱۴۹

صفیه عرب ، مهدی برادران فیروزآبادی، احمد غلامی و مصطفی حیدری

ارزیابی و پایش پایداری اکولوژیکی بوم‌نظام‌های زراعی تولید روغن در سیستان با استفاده از تکنیک‌های تحلیل امرژی و اقتصادی ۱۶۱

نرگس پردل، محمدرضا اصغری پور و اسماعیل سیدآبادی

اثر برخی از محرک‌های رشد گیاهی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بادرنجبویه (*Melissa officinalis*. L) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری ۱۸۳

مصطفی یاسینی، سوران شرفی و سامان یزدان ستا

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

Research Article
Vol. 16, No. 1, 2024, p. 1-17

Evaluation of Qualitative Traits of Forage Turnip (*Brassica rapa* var. *rapa*) in Intercropping with Basil (*Ocimum basilicum*) and Influence of Biochar and Vermicompost Application

Roma Kalhor Monfared[1], Mohammad Reza Ardakani[2*], Farzad Paknejad[2], Mansour Sarajuqi[3] and Hassan Ali Naghdi Badi[4]

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Professor, and Assistant Professor of the Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
4- Associate Professor of Medicinal Plants Research Center, Institute of Medicinal Plants, ACECR, Karaj, Iran.
(*- Corresponding author's Email: mohammadreza.ardakani@kiau.ac.ir)

Received: 04-02-2022
Revised: 06-06-2022
Accepted: 08-06-2022
Available Online: 08-06-2022

How to cite this article:
Kalhor Monfared, R., Ardakani, M.R., Paknejad, F., Sarajuqi, M., & Naghdi Badi, H.A. (2023). Evaluation of qualitative traits of forage turnip (*Brassica rapa* var. *rapa*) in intercropping with basil (*Ocimum basilicum*) and influence of biochar and vermicompost application. *Journal of Agroecology, 16*(1), 1-17. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/agry.2022.75103.1092

Introduction

Intercropping reduces the application of chemical pesticides to control pests and weeds, reducing the environmental risks associated with chemical pesticide application (Himmelstein et al., 2017). Biochar is a soil amendment because of its potential to retain water and nutrients, prevent nitrogen leaching, increase soil fertility, and improve plant growth (Fang et al., 2018; Munoz et al., 2016). Other benefits of vermicompost are increased stability of soil resources, maintenance of production, reduction of environmental pollution, and increased soil biological activity too (Demir, 2019). Therefore, the purpose of this study was to investigate the quality of forage turnip (*Brassica rapa* var. *rapa*) leaves in different intercropping ratios of forage turnip and basil (*Ocimum basilicum*) using biochar as soil amendment and vermicompost.

Materials and Methods

A biennial study was conducted on the quality performance of forage turnip (*Brassica rapa* var. *Rapa*) in the form of split-plot factorial in a randomized complete block design with three replications in the research farm of Islamic Azad University of Karaj in two years (2018-2019). The treatments of this study include: intercropping in four ratio (100% forage turnip (monoculture), 90% forage turnip + 10% basil, 80% forage turnip + 20% basil, 70% forage turnip + 30% basil), in main plots, and vermicompost in two levels (15, 18.5 ton.ha^{-1}) and biochar in two levels (No consumption and 5 ton.ha^{-1}) which was placed in subplots. The forage turnip cultivar was PacFB05. In this study, Photosynthetic pigments were measured by the Arnon (1967) method, membrane permeability (Ferrat and Loval, 1999), relative moisture content (Bertin et al., 1996), soluble leaf sugars (Sheligl, 1986), catalase (Dazy et al., 2008) and soil respiration (Isermeyer, 1952). Using SAS software (Ver.9) for data analysis of a two-year experiment and analysis of means was done with Duncan's test in significance at 5% probability level. Excel software was used to plot the graphs.

©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.2022.75103.1092

Results and Discussion

The results of this study indicated that by increasing the ratio of basil in intercropping, the quality traits of forage turnip leaves increased. Consumption of biochar and application of vermicompost at the level of 18.5 ton.ha^{-1} increased the quality of forage turnip leaves. The highest chlorophyll a ((17.52 mg.g^{-1}Fw), chlorophyll b (8.76 mg.g^{-1}Fw) total chlorophyll (26.38 mg.g^{-1}Fw), carotenoids (6.91 mg.g^{-1}Fw), relative water content (59.54%), of soluble sugars (69.43%), catalase (0.018 micromole Fresh weight/min) were due to the interaction of (70% forage turnip + 30% basil) × vermicompost 18.5 ton ha^{-1} × application of biochar. The highest value of membrane stability index was related to 100% forage turnip × vermicompost 15 ton ha^{-1} (4.85 (mol.ml^{-1}.s^{-1})). The highest amount of soil respiration is associated with the interaction of vermicompost 18.5 ton.ha^{-1} × 70% forage turnip + 30% basil with value of 0.28 (micromole.gsoil^{-1}.hour^{-1})), interaction of biochar ×70% forage turnip + 30% basil (0.32 (micromole.gsoil^{-1}·hour^{-1})), and interaction of vermicompost of 18.5 ton.ha^{-1} × biochar 0.31 (micromole. g soil^{-1}.hour^{-1}). Due to the potential of biochar (water and food retention and prevent of nitrogen leaching) it can increase the availability of water and nutrients for the plant, which leads to increased photosynthesis of the plant and thus the quality of forage turnip leaves (Akhtar et al., 2015; Hammer et al., 2015). Vermicompost increases soil organic matter and the uptake of zinc, copper, iron, phosphorus, potassium, and nitrogen in soil. The presence of these elements in the soil and their absorption by the roots increases vegetative growth and leaf production in the plant, which causes the level of light absorption, photosynthetic level, the formation of hydrocarbons in the leaves, and the resulting growth also increases leaf quality (Theunissen et al., 2010).

Conclusion

The results of this study indicated that the application of vermicompost 18.5 ton ha^{-1} and biochar increased forage turnip quality, which is due to the availability of water and nutrients for forage turnip. The best intercropping ratio was related to 70% forage turnip + 30% basil, which can be said to be due to the increase in the percentage of basil and the competition of plants for better use of intercropping components of growth sources such as light, water, and food.

Keywords: Catalase activity, Chlorophyll, Membrane stability index, Relative water content, Soluble sugars

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص ۱۷-۱

ارزیابی صفات کیفی شلغم علوفه‌ای (*Brassica rapa* var. *rapa*) در کشت مخلوط با ریحان (*Ocimum basilicum*) تحت تأثیر کاربرد بیوچار و ورمی‌کمپوست

روما کلهر منفرد[۱]، محمد رضا اردکانی[۲*]، فرزاد پاک‌نژاد[۲]، منصور سراجوقی[۳] و حسنعلی نقدی بادی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۳/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۸

چکیده

این پژوهش دو ساله بر روی عملکرد کیفی شلغم علوفه‌ای (*Brassica rapa* var. *rapa*) به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی کرج در سال‌های (۱۳۹۸- ۱۳۹۷) انجام شد. با افزایش نسبت ریحان (*Ocimum basilicum*) در کشت مخلوط، رنگیزه‌های فتوسنتزی، قندهای محلول، کاتالاز، رطوبت نسبی برگ شلغم علوفه‌ای افزایش یافتند و همچنین موجب افزایش تنفس خاک و کاهش شاخص پایداری غشا گردید. مصرف بیوچار و همچنین ورمی‌کمپوست در سطح ۱۸/۵ تن در هکتار موجب افزایش کیفیت برگ شلغم علوفه‌ای، تنفس خاک و کاهش شاخص پایداری غشا شد. برهم‌کنش کشت مخلوط (۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای+ ۳۰ درصد ریحان) × ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار × کاربرد بیوچار منجر به افزایش کلروفیل *a* ۱۴۸/۵۱ درصد، کلروفیل *b* ۱۳۰/۹۳ درصد، کلروفیل کل ۱۳۴/۴۸ درصد، کاروتنوئید ۲۱۴/۹۴ درصد، رطوبت نسبی برگ ۵۰/۳۱ درصد، قندهای محلول ۸۹/۲۶ درصد، کاتالاز ۲۰۰ درصد، و کاهش شاخص پایداری غشا ۱۹۲/۱۶ درصد نسبت به شاهد (شلغم علوفه‌ای ۱۰۰ درصد (تک کشتی)× ورمی‌کمپوست ۱۵ تن در هکتار × عدم مصرف بیوچار) شد. بیشترین مقدار تنفس خاک نیز مربوط به برهم‌کنش ورمی‌کمپوست ۱۸/۵تن در هکتار×کشت مخلوط ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای+ ۳۰ درصد ریحان ۱۵۴/۵۴ درصد، کشت مخلوط ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای+ ۳۰ درصد ریحان و بیوچار ۱۹۰/۹۰ درصد و همچنین برهم‌کنش بیوچار و ورمی‌کمپوست ۱۸/۵تن در هکتار × بیوچار ۹۳/۷۵ درصد نسبت به شاهد بود. کاربرد توأم نسبت کاشت۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان در ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار و بیوچار پنج تن در هکتار بهترین تیمار این پژوهش بوده و قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: رطوبت نسبی برگ، شاخص پایداری غشا، فعالیت آنزیم کاتالاز، قندهای محلول، کلروفیل

مقدمه

کشت مخلوط به‌دلیل ثبات بیولوژیکی و تنوع زیاد، یکی از روش‌های توصیه شده در راستای کشاورزی پایدار و حفظ محیطزیست می‌باشد؛ که شامل کاشت بیش از یک گونه گیاهی با هم است و موجب افزایش عملکرد گیاهان در مقایسه با سیستم تک‌کشتی شده است. کشت مخلوط موجب حفظ تعادل اکولوژیک شده و از طرف دیگر، بهره‌برداری حداکثری از آب، خاک و مواد غذایی را به‌دنبال دارد و با کاهش خسارات احتمالی ناشی از آفات و بیماری‌ها و افزایش فعالیت بیولوژیک خاک، یک راهکار مناسب جهت بهبود عملکرد کمّی و کیفی محصولات می‌باشد (Cong et al., 2015; Li et al., 2014; Weerarathne et al., 2017; Lopes et al., 2016). کشت مخلوط منجر به کاهش مصرف سموم شیمیایی برای کنترل آفات و علف‌های هرز می‌شود که پیرو این امر، خطرات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد سموم شیمیایی کاهش می‌یابد و گامی در جهت تولید

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
۴- دانشیار مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی، کرج، ایران.
(*- نویسنده مسئول:
Email: mohammadreza.ardakani@kiau.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2022.75103.1092

محصولات سالم است (Himmelstein et al., 2017). نظام‌های تک‌کشتی اغلب نمی‌توانند به‌طور کامل از فضای در دسترس و منابع (نور و خاک) استفاده کنند، امّا دو گونه کشت‌شده با یکدیگر می‌توانند از منابع و فضا با کارایی بیشتری بهره‌مند شوند. انتخاب گیاهان مناسب برای کشت مخلوط بسیار حائز اهمیت است و گیاهان انتخابی نباید مانع رشد گونه همراه شوند (Sullivan, 2003). نتایج بسیاری از گزارش‌ها حاکی از آن است که کشت مخلوط سبب افزایش عملکرد کمّی و کیفی در گیاهان مختلف از جمله در کشت بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea*) و ذرت (*Zea mays*) (Dai et al., 2018)، ذرت و سویا (*Glycine max*) (Dragicevic et al., 2015)، لوبیا تپاری (*Phaseolus acutifolus* L. Gray) و دو رقم ارزن (*Panicum miliaceu*)(ارقام باستان و پیشاهنگ) (Badakhshan et al., 2021) و افزایش عملکرد ذرت در کشت مخلوط ذرت و یونجه (*Medicago sativa*) (Naser et al., 2020)، و همچنین افزایش تنفس خاک و مواد آلی خاک در کشت مخلوط چاودار (*Secale cereal*)، خلر(*Lathyrus sativus*) و ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa*) (Ahmadnia et al., 2020)، بزرک (*usitatissimum*) (*Linum*) و نخود (*Cicer arietinum*) (Asadi et al., 2020)، نسبت به تک‌کشتی شده است.

شلغم علوفه‌ای (*Brassica rapa* L.) در زمانی که بسیاری از گیاهان علوفه‌ای در فصول گرم و سرد محصولی تولید نمی‌کنند، قابلیت تولید علوفه انبوه را دارد و می‌توان به سایر ویژگی‌های شلغم علوفه‌ای از جمله عملکرد بالای این گیاه، همراه با انرژی و پروتئین بیشتر آن در مقایسه با غلات و گیاهان چمنی چندساله و همچنین قابلیت چرای مستقیم و در نتیجه، هزینه برداشت پایین و مقرون به صرفه آن، قدرت سازگاری مناسب در شرایط آب و هوایی مختلف اشاره کرد (Ayres, 2002;Smart et al., 2004)

ریحان (*Ocimum basilicum*) گیاهی معطر و متعلق به خانواده نعناعیان است. این گیاه علاوه‌بر کاربرد در صنایع غذایی، آرایشی، بهداشتی و عطرسازی، در درمان برخی از بیماری‌های گوارشی و همچنین افزایش حجم شیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. ریحان به‌علت وجود متابولیت‌های ثانویه فراوان، خاصیت ضدمیکروبی، ضدقارچی، ضدسرطانی و حشره‌کشی دارد (Hussain et al., 2015; Li et al., Carocho et al., 2015; 2017)، لذا می‌توان از این گیاه جهت کشت مخلوط با گیاهان علوفه‌ای استفاده نمود. همچنین گزارش شده است که کاربرد ریحان در نظام کشت مخلوط همراه با لوبیا (*Phaseolus vulgaris*)، سبب کاهش رشد علف‌های هرز شده است (Alizadeh et al., 2010).

بیوچار به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک و به‌دلیل پتانسیل نگهداری آب و مواد غذایی و عدم آبشویی آن‌ها موجب افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود رشد گیاهان می‌شود (Fang et al., 2018; Munoz et al., 2016). کاربرد بیوچار دارای عملکرد متفاوتی بر روی گیاهان است و بستگی به نوع بیوچار، بافت خاک و شرایط آب و هوایی مختلف، عملکرد آن نیز متفاوت است، امّا به‌طور کلی، اثر بیوچار بر روی گیاهان مثبت گزارش شده است (Jeffery et al., 2017). به‌طور مثال، بیوچار باعث افزایش عملکرد کمّی و کیفی گیاهانی از جمله یولاف (*Avena sativa*) (Ochiai et al., 2021)، ذرت (Hale et al., 2020) و برنج (*Oryza sativa*) (Yin et al., 2017) شده است. نتایج تحقیقات بیانگر آن است که کاربرد بیوچار در ترکیب با سایر کودهای آلی (کمپوست و ورمی‌کمپوست) موجب افزایش عملکرد کمّی و کیفی گیاه چغندر (*Beta vulgaris*) شده است (Naser et al., 2020).

ورمی‌کمپوست دارای عناصرغذایی قابل‌دسترس مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول برای گیاه است و وجود عناصر مختلف کم-مصرف مانند آهن، روی، مس و منگنز از دیگر مزایای کود ورمی-کمپوست می‌باشد که موجب افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان می‌گردد (Lakhdar, 2009). از دیگر مزایای ورمی‌کمپوست پایداری منابع خاک، حفظ تولید در درازمدت، کاهش آلودگی محیطزیست و افزایش فعالیت بیولوژیکی خاک است (Demir, 2019). شواهد بسیاری مبنی بر اثر مثبت ورمی‌کمپوست بر رشد و عملکرد گیاهان مختلف مانند ذرت (Jjagwe et al., 2020)، گندم (*Triticum aestivum*) (Hafez et al., 2021) و سورگوم (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (Nohong et al., 2020) وجود دارد. تولید گیاهان دارویی در کشت مخلوط با گیاهان علوفه‌ای، یکی از راهکارهای مناسب جهت افزایش تولید علوفه و کاهش استفاده از داروهای شیمیایی برای دام‌ها است. ریحان علاوه‌بر خوش‌طعم شدن شیر، باعث افزایش شیر در دام‌های شیری می‌شود و شلغم علوفه‌ای، به علت داشتن پروتئین و خاصیت آنتی‌بیوتیکی، علوفه‌ای مناسب برای دام است. کاربرد کودهای آلی نیز باعث افزایش کیفیت محصولات از طریق افزایش مواد آلی خاک و تنفس خاک می‌شوند. اکثر مطالعات

صورت گرفته بر روی شلغم علوفه‌ای بر اساس سیستم تک‌کشتی این گیاه بوده و گزارشی مبنی بر کشت مخلوط این گیاه با یک گیاه دارویی (علوفه دارو) در دسترس نیست. لذا، تأثیر کشت مخلوط و نهاده‌های ارگانیک، بر عملکرد کیفی این گیاه حائز اهمیت است. پژوهش حاضر با هدف بررسی کیفیت برگ شلغم علوفه‌ای در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با ریحان به همراه کاربرد بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک و کود آلی ورمی‌کمپوست اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به‌صورت دو ساله در طی سال‌های (۱۳۹۸– ۱۳۹۷) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی ۵۱ درجه و ۶ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۳۱۳ متری از سطح دریا بر روی شلغم علوفه‌ای و ریحان اجرا شد. رقم شلغم علوفه‌ای PacFB05 بود. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از: کشت مخلوط (۱۰۰ درصد شلغم علوفه‌ای (تک‌کشتی)، ۹۰ درصد شلغم علوفه‌ای +۱۰ درصد ریحان، ۸۰ درصد شلغم علوفه‌ای+ ۲۰ درصد ریحان، ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان) که در کرت‌های اصلی قرار داده شد، ورمی‌کمپوست (۱۵ و ۱۸/۵ تن در هکتار) و بیوچار (عدم مصرف و پنج تن در هکتار) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند که قبل از کشت به خاک زراعی اضافه شدند. مقدار مصرف بیوچار بر اساس مقادیر توصیه شده به‌صورت ۱۰ درصد وزنی/وزنی و مقدار ورمی‌کمپوست براساس نیتروژن خالص مورد نیاز گیاه و ۲۵ درصد بیش از نیاز گیاه به‌کار برده شد. در این پژوهش از بیوچار پلاس[1] استفاده شد که منبع آن مجموعه‌ای از سرشاخه‌ها و چوب درختان جنگلی و ماهیت آن به‌صورت سلولزی است و به‌روش گرماکافت[2] تهیه شد. بیوچار پلاس دارای پنج درصد رطوبت و کمتر از چهار درصد خاکستر است. به‌ازای هر ۱۰۰ گرم بیوچار پلاس، ۲۰۰ میلی‌لیتر جذب ید وجود دارد و جذب متیل‌بلو آن در حدود ۱۵– ۱۰ درصد و چگالی آن ۰/۳ درصد است. گیاهان در تیرماه (۱۳۹۷ و ۱۳۹۸)، به‌صورت همزمان کاشته شدند. تراکم شلغم علوفه‌ای ۱۲۰ هزار بوته در هکتار بود. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت صورت گرفت و دور آبیاری گیاهان هفته‌ای یک‌بار و به‌صورت غرقابی بود. خصوصیات ورمی‌کمپوست در جدول ۱ آورده و اطلاعات مربوط به هواشناسی نیز در طی دوره کشت گیاهان یادداشت شد (شکل ۱).

در این پژوهش، محتوای کلروفیل موجود در گیاه (کلروفیل *a* و *b*) و کل کلروفیل، کارتنوئید، شاخص پایداری غشا، محتوای رطوبت نسبی، قندهای محلول برگ، کاتالاز و تنفس خاک اندازه‌گیری شد. رنگیزه‌های فتوسنتزی بعد از انتقال برگ‌ها به آزمایشگاه به‌روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری و بعد از تهیه عصاره، میزان جذب نور توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر به‌ترتیب برای کلروفیل *a* و *b* و کارتنوئید قرائت گردید. میزان محتوای رطوبت نسبی از طریق معادله ۱ محاسبه شد (Ferrat & Loval, 1999).

معادله (۱)

$$RWC= [Fw-DW]/[Sw-DW]\times100$$

که در آن، FW: وزن‌تر برگ، DW: وزن خشک برگ و SW: وزن اشباع برگ است. شاخص پایداری غشا از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت‌های برگ ارزیابی شد. برای این منظور، نمونه‌ها هرکدام درون آب مقطر با حجم ۲۰ میلی‌لیتر منتقل و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. هدایت الکتریکی آب مقطر همراه نمونه به‌عنوان نشت اولیه اندازه‌گیری شد. نشت ثانویه نیز از طریق اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها پس از حرارت‌دادن آن‌ها به‌مدت دو دقیقه و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. شاخص پایداری غشا از طریق معادله ۲ محاسبه گردید (Bertin et al., 1996).

معادله (۲)

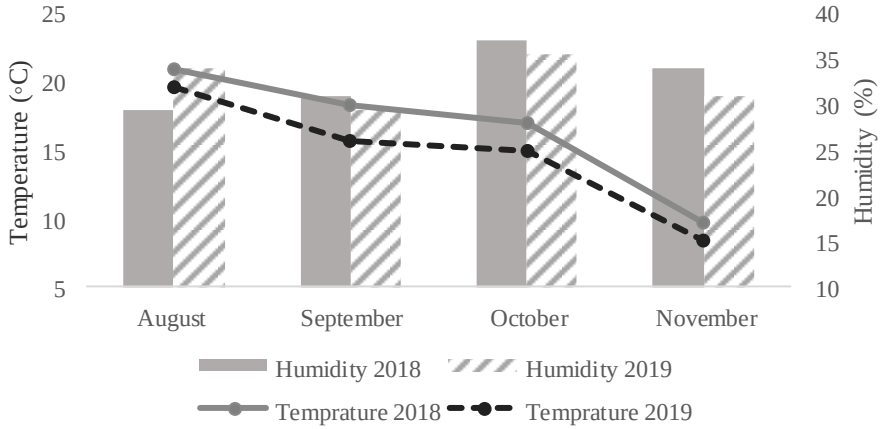
$$Membrane\ Stability\ Index\ (MSI) = [1- C_1/C_2]\times100$$

که در آن، MSI: شاخص پایداری غشا، C_1: نشت اولیه و C_2: نشت ثانویه است. برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز، از مخلوط واکنش که شامل بافر فسفات سدیم ۱۰۰ میلی‌مولار، (۷=اسیدیته)، H_2O_2 ۲۰ میلی‌مولار EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان کل قندهای محلول در برگ نیز نمونه‌های خشک شده آسیاب شدند و پس از توزین، درون فالکون ریخته شده و مقدار ۱۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد به ارلن اضافه گردید و به‌مدت۲۰ ثانیه ورتکس شد. فالکون‌های حاوی عصاره به‌مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا اتانول آن‌ها تبخیر شد و به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰

1- Biochar plus
2- Pyrolysis

دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. مقدار دو میلی‌لیتر از عصاره فاز مایع پس از سانتریفیوژ برداشته شد و نمونه‌ها در اسپکتروفتومتر با طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت و منحنی استاندارد رسم شد و مقدار قند با قرار دادن اعداد در معادله خط به‌دست آمد (Sheligl, 1986).

فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از کاهش جذب H_2O_2 محاسبه گردید. واکنش با افزودن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حجم نهایی سه میلی‌لیتر آغاز شد و تغییرات جذب در ۲۴۰ نانومتر به‌مدت سه دقیقه ثبت و فعالیت آنزیم به‌صورت تغییرات جذب در دقیقه به‌ازای وزن‌تر بیان شد (Dazy et al., 2008).



شکل ۱- نمودار اطلاعات هواشناسی در طی دو سال کشت (۱۳۹۸- ۱۳۹۷)

Fig. 1- Climatology curve (amberotermic graph) from August to November (2018-2019)

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ورمی‌کمپوست

Table 1- Physical and chemical properties of vermicompost

سال Year	رطوبت Humidity (%)	اسیدیته pH	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	مواد آلی Organic matter (%)	کربن آلی Organic C (%)	کربن/نیتروژن C/N
2018	4.58	7.8	1.78	0.48	0.50	7.8	41.25	25.17	14.45
2019	4.06	7.6	1.63	0.43	0.55	7.5	40.18	22.89	13.22

به‌منظور اندازه‌گیری تنفس خاک، مقدار ۲۰ گرم از خاک هر نمونه داخل ظرفی ریخته شد. در ظرف دیگری ۱۰ میلی‌لیتر NaOH، دو مولار ریخته شد. هر دو ظرف را در یک ظرف بزرگ‌تر گذاشته شده و درب ظرف بزرگ بسته شده و نمونه‌ها به‌مدت ۲۰ روز در محیط تاریک و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پس از آن، نمونه‌ها از ظرف خارج شد و با محلول NaOH، دو مولار تیتر شد و با استفاده از معادله ۳ تنفس خاک محاسبه گردید (Isermeyer, 1952).

معادله (۳)

$$\text{Soil Respiration} = 2.2 \times 100 \times (c-s)/Sw \times 100$$

که در آن، C: میزان اسید مصرفی برای شاهد، S: میزان اسید مصرفی برای نمونه، SW: وزن اولیه خاک مرطوب و ۲/۲: فاکتور تبدیل (یک میلی‌لیتر از HCl ۰/۱ مولار معادل ۲/۲ میلی‌گرم CO_2) می‌باشد. تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.4) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با احتمال خطای پنج درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که اثر سال، کشت مخلوط، بیوچار و ورمی‌کمپوست و برهم‌کنش سال × کشت مخلوط، کشت مخلوط × بیوچار، بیوچار × ورمی‌کمپوست و کشت مخلوط ×

ورمی‌کمپوست و همچنین برهم‌کنش کشت مخلوط × بیوچار × ورمی‌کمپوست در محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی دارای اثر معنی‌دار با احتمال خطای یک درصد بود (جدول ۲). بررسی‌های مقایسه میانگین نشان دادند که برهم‌کنش کشت مخلوط ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان × بیوچار × ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار موجب افزایش کلروفیل *a* ۱۴۸/۵۱ درصد، کلروفیل *b* ۱۳۰/۹۳ درصد، کلروفیل کل ۱۳۴/۴۸ درصد، کاروتنوئید ۲۱۴/۹۴ درصد، نسبت به شاهد (شلغم علوفه‌ای ۱۰۰ درصد (تک‌کشتی) × ورمی‌کمپوست ۱۵ تن در هکتار × عدم مصرف بیوچار) شد. با افزایش درصد ریحان در کشت مخلوط، رنگیزه‌های فتوسنتزی افزایش یافتند و کاربرد بیوچار نیز باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی شلغم علوفه‌ای شد. ورمی‌کمپوست در سطح ۱۸/۵ تن در هکتار در مقایسه با ۱۵ تن در هکتار عملکرد بهتری در افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی شلغم علوفه‌ای داشت (جدول ۳). اثر سال در پژوهش حاضر معنی‌دار شد، به این مفهوم که سال زراعی اثر متفاوتی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی داشت و در سال دوم رنگیزه‌های فتوسنتزی بیشتر از سال اول بودند که می‌توان گفت به‌دلیل مساعد بودن شرایط آب و هوایی ناشی از درجه حرارات کمتر، در سال دوم این اتفاق حاصل شد که سبب رشد و فتوسنتز بهتر گیاهان گردید. بیوچار به‌دلیل پتانسیل خود (نگهداری آب و موادغذایی و مانع از آبشویی آن‌ها) باعث افزایش فراهمی آب و موادغذایی برای گیاه می‌گردد که همین امر منجر به افزایش فتوسنتز گیاه و در نتیجه، افزایش کلروفیل و کاروتنوئید برگ شلغم علوفه‌ای شد (Akhtar et al., 2015; Hammer et al., 2015). ورمی‌کمپوست به‌دلیل دارا بودن عناصر ریزمغذی موجب افزایش موادآلی خاک شده و قابلیت جذب روی، مس، آهن، فسفر، پتاسیم و نیتروژن خاک را افزایش می‌دهد. وجود این عناصر در خاک و جذب آن توسط ریشه‌ها سبب افزایش رشد رویشی و تولید برگ در گیاه می‌شود که باعث سطح جذب نوری، سطح فتوسنتزی، ساخته شدن مواد هیدروکربنی در برگ‌ها شده و رشد ناشی از آن نیز موجب افزایش میزان کلروفیل می‌شود. آهن از جمله عناصر موجود در ساختمان سیتوکروم است که در بیوسنتز کلروفیل نقش داشته و کاربرد ورمی‌کمپوست باعث افزایش این ریزمغذی‌ها می‌شود و جذب آن توسط گیاه افزایش می‌یابد (Theunissen et al., 2010). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کشت مخلوط اثر مطلوبی بر کلروفیل شلغم علوفه‌ای داشته و باعث افزایش مقدار کلروفیل نسبت به سیستم تک کشتی شد. محققین بیان کردند که کشت مخلوط ذرت و یونجه موجب افزایش کلروفیل ذرت در مرحله تشکیل دانه و شیری شدن نسبت به سیستم تک کشتی ذرت شده است (Naser et al., 2020)، که با نتایج حاصل از پژوهش فوق مطابقت داشت. دلیل افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در تیمارهای بیوچار در ترکیب با ورمی‌کمپوست را می‌توان این گونه توجیه نمود که بیوچار باعث جلوگیری از آبشویی نیتروژن شده و نیتروژن موجود در ورمی‌کمپوست را در اختیار گیاه قرار داده است که باعث ایجاد شرایط مناسب برای رشد گیاه شده و منجر به افزایش محتوای کلروفیل برگ شلغم علوفه‌ای شده است. در همین راستا، پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد بیوچار در ترکیب با ورمی‌کمپوست و کمپوست آلی به‌دلیل بهبود وضعیت تغذیه گیاه و همچنین افزایش دسترسی گیاه به مواد آلی موجود در خاک، به‌میزان قابل توجهی منجر به افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه چغندر شده است (Libutti et al., 2020).

کشت مخلوط با ریحان سبب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی شد که علت آن را می‌توان سایه‌اندازی گیاهان بر روی یکدیگر و در نهایت، جذب بهتر نیتروژن و کاهش تبخیر آب را عنوان کرد که موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود (Wu et al, 2020). علاوه‌براین، کلروفیل *a* یکی از مهم‌ترین رنگدانه‌های فتوسنتزی است. در این پژوهش، کشت مخلوط کشت مخلوط ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان، محتوی کلروفیل *a* را به‌مقدار ۱۳/۴۲ درصد بیشتر از محتوی کلروفیل *b* افزایش داده است، که در پی افزایش آن، به‌طور قابل توجهی فتوسنتز می‌یابد. افزایش کاروتنوئید در کشت مخلوط را می‌توان به این صورت بیان کرد که کارتنوئیدها برای محافظت از کلروفیل و فتوسنتز بیشتر گیاه، تولید شده‌اند (Dias et al., 2013).

شاخص پایداری غشا و رطوبت نسبی برگ

اثر کشت مخلوط، بیوچار و ورمی‌کمپوست و برهم‌کنش کشت مخلوط × بیوچار، کشت مخلوط × ورمی‌کمپوست و بیوچار × ورمی‌کمپوست با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود و برهم‌کنش کشت مخلوط × بیوچار × ورمی‌کمپوست در شاخص پایداری غشا و رطوبت نسبی برگ در احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۴). با افزایش درصد ریحان در کشت مخلوط و همچنین با افزایش مقدار ورمی‌کمپوست و کاربرد بیوچار، شاخص پایداری غشا ۱۹۲/۱۶ درصد کاهش یافت (جدول ۵).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات کشت مخلوط شلغم علوفه‌ای و ریحان، ورمی‌کمپوست و بیوچار بر صفات رنگیزه‌های فتوسنتزی شلغم علوفه‌ای

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of intercropping of forage turnip and basil, vermicompost, and biochar for photosynthetic pigment traits of forage turnip

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	کلروفیل *a* Chlorophyll *a*	کلروفیل *b* Chlorophyll *b*	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid
سال Year (y)	1	35.98**	79.74**	57.11**	84.62**
تکرار (سال) Block (y)	4	19.6	18.13	16.17	19.03
کشت مخلوط Intercropping (a)	3	132.41**	148.78**	127.39**	176.58**
y×a	3	95.73**	108.67**	115.20**	106.14**
خطای کرت اصلی Error a	12	14.85	15.37	13.19	14.63
بیوچار Biochar (b)	1	83.81**	98.20**	104.32**	115.20**
y×b	1	2.09ns	1.54ns	3.72ns	2.85ns
ورمی کمپوست Vermicompost (c)	1	126.15**	153.80**	112.67**	148.91**
y×c	1	3.10ns	1.84ns	2.91ns	2.73ns
a×b	3	321.54**	243.12**	94.85**	136.76**
y×a×b	3	4.53ns	5.21ns	3.72ns	3.98ns
a×c	3	174.38**	456.74**	111.95**	165.73**
y×a×c	3	10.52ns	9.71ns	8.64ns	11.58ns
b×c	1	98.65**	101.53**	108.44**	89.73**
y×b×c	1	11.22ns	15.94ns	17.01ns	10.53ns
a×b×c	3	486.25**	597.18**	326.70**	259.48**
y×a×b×c	3	18.22ns	16.73ns	9.48ns	12.84ns
خطای کرت فرعی Error b	48	12.09	14.21	10.83	13.34
ضریب تغییرات C.V (%)		8.24	6.53	6.09	7.82

**: معنی‌دار با احتمال خطای یک درصد، ns: فاقد اثر معنی‌داری

**: Significant at $p \leq 0.01$, ns: no significance

در بررسی رطوبت نسبی برگ مشاهده شد که کاربرد کشت مخلوط در مقایسه با سیستم تک‌کشتی شلغم علوفه‌ای و همچنین کاربرد ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار توأم با بیوچار، سبب افزایش ۵۰/۳۱ درصدی رطوبت نسبی برگ نسبت به شاهد شد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار رطوبت نسبی برگ به‌مقدار (۷۵/۶۴ درصد) مربوط به برهم‌کنش ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار × بیوچار × کشت مخلوط ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان بوده است (جدول ۵). با کاهش شاخص پایداری غشا، رطوبت نسبی برگ افزایش یافت و بیوچار با فراهمی آب در دسترس گیاه موجب افزایش رطوبت نسبی برگ شد که نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج پژوهش ترابیان و همکاران (Torabian et al., 2018) مطابقت داشت. آن‌ها بیان کردند که بیوچار باعث افزایش عملکرد و رطوبت نسبی برگ ماش شده است. سایر محققین گزارش کردند که استفاده از کود آلی به‌علت بهبود ساختمان خاک و حفظ آب ثقلی باعث ایجاد محیطی مناسب جهت رشد گیاه شده و آب قابل دسترس بیشتری را در اختیار گیاه قرار داده و در نتیجه، سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ می‌گردد. از طرفی دیگر، کاربرد بیوچار و همچنین ورمی-کمپوست منجر به افزایش دسترسی گیاه به آب می‌شود که با افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، گیاه کمتر با کم آبی مواجه شده که موجب افزایش رطوبت نسبی برگ و کاهش شاخص پایداری غشا در گیاه می‌شود (Rajaie et al., 2015). محققین علت افزایش رطوبت نسبی برگ در کشت مخلوط را افزایش آب موجود در برگ گیاهان توسط سایه‌اندازی گیاهان بر روی یکدیگر عنوان کرده‌اند (Wu et al., 2020).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل کشت مخلوط شلغم علوفه‌ای و ریحان ، ورمی‌کمپوست و بیوچار بر صفات رنگیزه‌های فتوسنتزی شلغم علوفه‌ای

Table 3- Mean of comparison of intercropping of forage turnip and basil, vermicompost and biochar on photosynthetic pigments of forage turnip

تیمارها Treatments			کلروفیل *a* chlorophyll *a* (mg.g^{-1} FW)	کلروفیل *b* chlorophyll *b* (mg.g^{-1} FW)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.g^{-1} FW)	کاروتنوئید Carotenoid (mg.g^{-1} FW)
کشت مخلوط Intercropping	ورمی کمپوست Vermicompost (ton.ha^{-1})	بیوچار Biochar (ton.ha^{-1})				
۷۰٪ شلغم علوفه‌ای + ۳۰٪ ریحان 70% Forage turnip + 30% basil	18.5	5	17.52^{a*}	8.36^{a}	26.38^{a}	6.11^{a}
		بدون مصرف No consumption	12.83^{c}	6.43^{c}	19.74^{c}	4.48^{c}
	15	5	12.75^{c}	6.64^{c}	19.80^{c}	4.39^{c}
		بدون مصرف No consumption	11.14^{d}	5.03^{d}	16.28^{d}	3.54^{d}
۸۰٪ شلغم علوفه‌ای + ۲۰٪ ریحان 80% Forage turnip + 20% basil	18.5	5	14.97^{b}	7.41^{b}	20.69^{b}	5.76^{b}
		بدون مصرف No consumption	12.80^{c}	6.58^{c}	19.57^{c}	4.32^{c}
	15	5	12.76^{c}	6.52^{c}	19.79^{c}	4.43^{c}
		بدون مصرف No consumption	10.98^{d}	5.28^{d}	16.41^{d}	3.61^{d}
۹۰٪ شلغم علوفه‌ای+ ۱۰٪ ریحان 90% Forage turnip + 10% basil	18.5	5	14.84^{b}	7.49^{b}	19.77^{c}	5.84^{b}
		بدون مصرف No consumption	10.30^{d}	5.18^{d}	16.34^{d}	3.48^{d}
	15	5	8.31^{e}	4.55^{e}	13.46^{e}	2.95^{e}
		بدون مصرف No consumption	8.39^{e}	4.40^{e}	13.23^{e}	2.92^{e}
۱۰۰٪ شلغم علوفه‌ای 100% Forage turnip	18.5	5	11.26^{d}	5.12^{d}	16.30^{d}	3.57^{d}
		بدون مصرف No consumption	8.28^{e}	4.48^{e}	13.34^{e}	2.79^{e}
	15	5	8.43^{e}	4.53^{e}	13.48^{e}	2.83^{e}
		بدون مصرف No consumption	7.05^{f}	3.62^{f}	11.25^{f}	1.94^{f}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد)

* Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

قندهای محلول

براساس نتایج به‌دست آمده، اثر کشت مخلوط، بیوچار و ورمی‌کمپوست و برهم‌کنش کشت مخلوط × بیوچار، کشت مخلوط × ورمی‌کمپوست و بیوچار × ورمی‌کمپوست و همچنین برهم‌کنش کشت مخلوط × بیوچار × ورمی‌کمپوست در قندهای محلول با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). استفاده از ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار در مقایسه با ورمی‌کمپوست ۱۵ تن در هکتار و کاربرد بیوچار و همچنین کشت مخلوط در مقایسه با سیستم تک‌کشتی شلغم علوفه‌ای موجب افزایش۸۹/۲۶ درصد قندهای محلول در برگ شلغم علوفه‌ای شد (جدول ۵). نقش قندها به‌عنوان پیش‌ماده تولید مواد کربنی و انرژی شناخته شده است. قندهای محلول یکی از مهم‌ترین اجزای تعیین‌کننده کیفیت علوفه هستند که وظیفه آن‌ها، فراهم کردن انرژی برای ریزجانداران داخل شکمبه دام است و حفظ سلامت دستگاه گوارش دام را برعهده دارند (Ehteshami et al., 2011). در گیاهان، قندها طی فرآیند فتوسنتز تولید می‌شوند و ورمی‌کمپوست به‌دلیل داشتن مواد هیومیکی و هورمون‌های رشد، سبب افزایش فتوسنتز گیاه شده و منجر به افزایش تولید قند در تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست شده است (Ramnarain et al., 2018). از طرف دیگر، ترکیب ورمی‌کمپوست و بیوچار باعث افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن شده و حفظ مواد آلی موجود در ورمی‌کمپوست توسط بیوچار نیز شرایط مناسب‌تری را برای بهبود تغذیه گیاه شلغم علوفه‌ای و افزایش فتوسنتز این گیاه فراهم آورده و سبب افزایش قند موجود در برگ این گیاه شده است (Libutti et al., 2020). نتایج حاصل از پژوهش فوق با پژوهش سایر محققان مطابقت داشت (Roumani et al., 2015). آن‌ها بیان کردند که بیشترین درصد قندهای محلول را در گیاه شلغم علوفه‌ای مربوط به کاربرد ریزجانداران در تلفیق با کودهای آلی بوده است. کاهش قندهای محلول باعث کاهش مواد مغذی مورد نیاز برای رشد گیاه می‌شود و کشت مخلوط به‌دلیل استفاده بهتر گیاهان از مواد آلی موجود در خاک سبب افزایش قندهای محلول شده است (Dai et al., 2018).

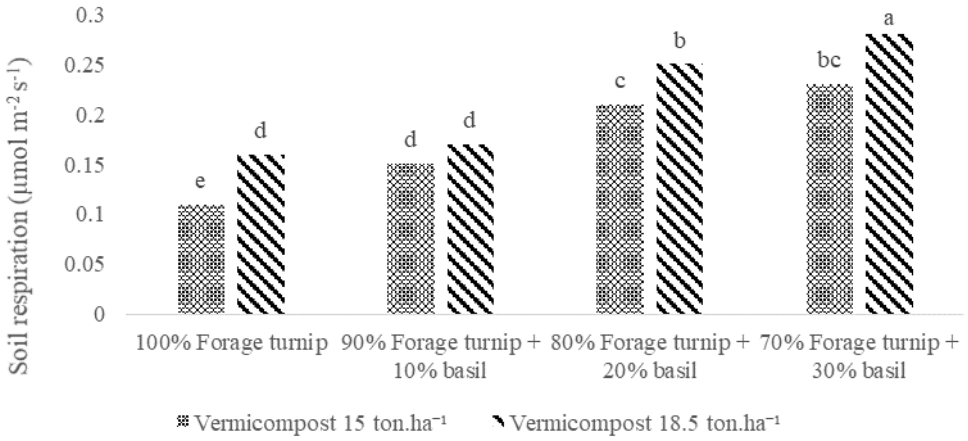
فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج بیانگر آن است که اثر کشت مخلوط، بیوچار و ورمی‌کمپوست و برهم‌کنش کشت مخلوط × بیوچار، کشت مخلوط × ورمی‌کمپوست و بیوچار × ورمی‌کمپوست و همچنین برهم‌کنش کشت مخلوط × بیوچار × ورمی‌کمپوست با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان دادند که کاربرد بیوچار و استفاده از ورمی‌کمپوست ۱۸/۵تن در هکتار در مقایسه با ورمی‌کمپوست ۱۵ تن در هکتار منجر به افزایش کاتالاز شده است، از طرفی، کشت مخلوط در مقایسه با سیستم تک‌کشتی شلغم علوفه‌ای موجب افزایش ۲۰۰ درصدی کاتالاز شد و با افزایش درصد ریحان، کاتالاز نیز افزایش یافت. بیشترین مقدار کاتالاز برگ شلغم علوفه‌ای مربوط به ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار × بیوچار × کشت مخلوط ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان (µicromole $FW.min^{-1}$) ۰/۰۱۸ بوده است (جدول ۵). افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر رادیکال‌های آزاد می‌باشد. از آنجایی که ورمی‌کمپوست دارای عناصر ریزمغذی با قابلیت جذب زیاد می‌باشد و این عناصر، به‌ویژه آهن و روی، در ساختار آنزیم شرکت دارند، می‌توان افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز را با افزایش و بهبود جذب این عناصر توسط گیاه مرتبط دانست. از طرفی دیگر، ورمی‌کمپوست با داشتن مواد هومیک و برخی هورمون‌ها، از جمله اسید آبسزیک، اکسین و سیتوکینین‌ها می‌تواند در افزایش فعالیت کاتالاز مؤثر باشد و بیوچار نیز با نگهداری آب و موادغذایی برای گیاه، این امر را میسر می‌کند و همچنین کشت مخلوط به‌دلیل رقابت گیاهان در استفاده از مواد آلی خاک سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شده است (Dragicevic et al., 2015; Shubha et al., 2011; Hale et al., 2020). کاربرد بیوچار سبب افزایش کاتالاز برگ شلغم علوفه‌ای شد و نتایج پژوهش فوق با نتایج ترابیان و همکاران (Torabian et al., 2018) بر روی گیاه ماش (*Vigna radiata*) مطابقت داشت.

تنفس خاک

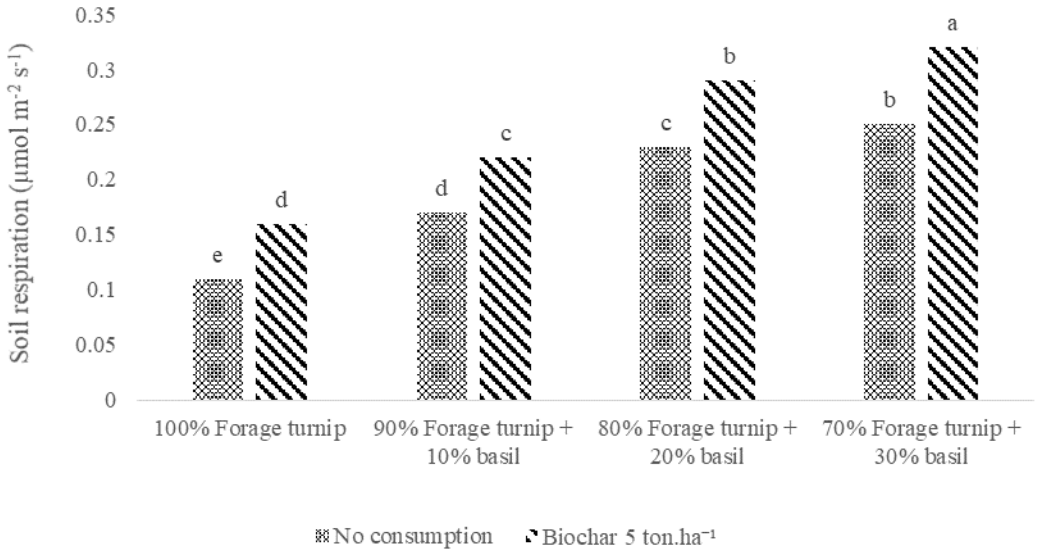
اثر کشت مخلوط، بیوچار و ورمی‌کمپوست و برهم‌کنش کشت مخلوط × بیوچار، کشت مخلوط × ورمی‌کمپوست و بیوچار × ورمی‌کمپوست با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین ورمی‌کمپوست و کشت مخلوط نشان داد که کشت مخلوط در مقایسه با سیستم تک کشتی شلغم علوفه‌ای منجر به افزایش تنفس خاک شده و با افزایش درصد ریحان، تنفس خاک نیز

افزایش یافته است. علاوه‌براین، استفاده از ورمی‌کمپوست ۱۸/۵تن در هکتار در مقایسه با ورمی‌کمپوست ۱۵ تن در هکتار موجب افزایش تنفس خاک شد. بیشترین مقدار تنفس خاک مربوط به برهم‌کنش ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار × کشت مخلوط ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان به‌مقدار ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$) ۰/۲۸ بود که موجب افزایش تنفس خاک ۱۵۴/۵۴ درصد نسبت به نظام تک‌کشتی × ورمی‌کمپوست ۱۵ تن در هکتار شد (شکل ۲). در برهم‌کنش کشت مخلوط و بیوچار نیز با افزایش درصد ریحان و همچنین با کاربرد بیوچار، تنفس خاک افزایش یافت. بیشترین مقدار تنفس خاک مربوط به برهم‌کنش بیوچار × کشت مخلوط ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان به‌مقدار ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$) ۰/۳۲ بود و افزایش ۱۹۰/۹۰ درصدی را نسبت به شاهد داشت (شکل ۳). بررسی برهم‌کنش بیوچار و ورمی‌کمپوست بیانگر آن است که کاربرد بیوچار و همچنین ورمی-کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار در مقایسه با ورمی‌کمپوست ۱۵ تن در هکتار باعث افزایش تنفس خاک شد. بیشترین مقدار تنفس خاک مربوط به برهم‌کنش ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار × بیوچار به مقدار ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$) ۰/۳۱ بود و سبب افزایش این شاخص ۹۳/۷۵ درصد نسبت به عدم مصرف بیوچار و ورمی‌کمپوست ۱۵ تن در هکتار شد (شکل ۴).



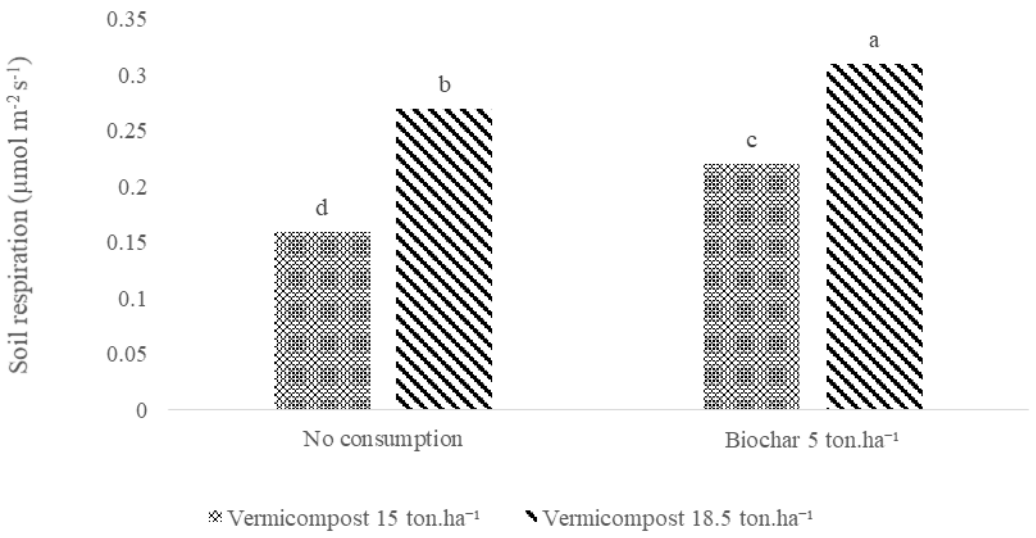
شکل ۲- اثر متقابل کشت مخلوط شلغم علوفه‌ای و ریحان و ورمی‌کمپوست بر تنفس خاک

Fig. 2- Interaction effects of intercropping and vermicompost on soil respiration



شکل ۳- اثرات متقابل کشت مخلوط شلغم علوفه‌ای و ریحان و بیوچار بر تنفس خاک

Fig. 3- Interaction effects of intercropping and biochar on soil respiration



شکل ٤- اثرات متقابل ورمی‌کمپوست و بیوچار بر تنفس خاک

Fig. 4- Interactions of vermicompost and biochar on soil respiration

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات کشت مخلوط شلغم علوفه‌ای و ریحان، ورمی کمپوست و بیوچار بر تراوایی غشا، رطوبت نسبی برگ، قندهای محلول، فعالیت آنزیم کاتالاز شلغم علوفه‌ای و تنفس خاک

Table 4- Analysis of variance (means of squares) of intercropping of forage turnip and basil, vermicompost and biochar for membrane stability index, relative water content (RWC), soluble sugars, catalase activity of forage turnip and soil respiration

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	شاخص پایداری غشا Membrane stability index	رطوبت نسبی برگ RWC	قندهای محلول Soluble sugars	فعالیت آنزیم کاتالاز Catalase activity	تنفس خاک Soil respiration
سال Year (y)	1	10.09^{ns}	15.64^{ns}	1.58^{ns}	0.24^{ns}	5/09^{ns}
تکرار (سال) Block (y)	4	16.84	23.47	9.75	0.97	6.18
کشت مخلوط Intercropping (a)	3	164.72**	102.24**	248.72**	3.07**	3.49**
y×a	3	4.85^{ns}	12.32^{ns}	3.64^{ns}	1.02^{ns}	1.37^{ns}
خطای کرت اصلی Error a	12	12.17	16.55	7.34	1.84	4.19
بیوچار Biochar (b)	1	463.73**	325.97**	112.74**	1.18**	6.32**
y×b	1	3.19^{ns}	10.95^{ns}	2.78^{ns}	0.82^{ns}	3.72^{ns}
ورمی کمپوست Vermicompost (c)	1	187.19**	126.85**	135.62**	197.32**	10.35**
y×c	1	2.48^{ns}	10.21^{ns}	1.42^{ns}	3.95^{ns}	1.72^{ns}
a×b	3	176.02**	421.10**	87.95**	177.42**	194.75**
y×a×b	3	4.68^{ns}	6.75^{ns}	5.92^{ns}	1.03^{ns}	1.92^{ns}
a×c	3	198.03**	365.79**	131.95**	125.73**	9.64**
y×a×c	3	5.02^{ns}	11.97^{ns}	3.07^{ns}	1.23^{ns}	1.18^{ns}
b×c	1	85.17**	164.42**	197.40**	36.18**	68.21**
y×b×c	1	7.15^{ns}	11.83^{ns}	5.32^{ns}	0.01^{ns}	1.14^{ns}
a×b×c	3	98.66*	145.74*	116.35**	99.68**	19.35**
y×a×b×c	3	5.93^{ns}	11.87^{ns}	6.21^{ns}	0.97^{ns}	2.04^{ns}
خطای کرت فرعی Error b	48	8.67	13.94	7.29	1.65	3.84
ضریب تغییرات C.V (%)		5.30	8.43	5.87	3.72	6.49

**,*: به‌ترتیب معنی‌دار با احتمال خطای یک و پنج درصد و ns: فاقد اثر معنی‌داری

**, *: Significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$ respectively and ns: no significance ($P \leq 0.05$)

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل کشت مخلوط شلغم علوفه‌ای و ریحان، ورمی‌کمپوست و بیوچار بر تراوایی غشا، رطوبت نسبی برگ، قندهای محلول و فعالیت آنزیم کاتالاز

Table 5- Mean comparison of intercropping of forage turnip and basil, vermicompost and biochar on for membrane stability index, relative water content (RWC), soluble sugars, catalase activity

تیمارها Treatments			شاخص پایداری غشا Membrane stability index ($mol.ml^{-1}.s^{-1}$)	رطوبت نسبی برگ RWC (%)	قندهای محلول Soluble sugars ($mg.g^{-1}$ FW)	فعالیت آنزیم کاتالاز Catalase activity ($\mu mole\ FW.min^{-1}$)
کشت مخلوط Intercropping	ورمی کمپوست Vermicompost	بیوچار Biochar				
۷۰٪ شلغم علوفه‌ای + ۳۰٪ ریحان 70% Forage turnip + 30% basil	18.5 ($ton.ha^{-1}$)	5 ($ton.ha^{-1}$)	1.66^{f*}	75.64^{a}	3.88^{a}	0.018^{a}
		بدون مصرف No consumption	2.74^{d}	70.78^{b}	3.62^{b}	0.015^{b}
	15 ($ton.ha^{-1}$)	5 ($ton.ha^{-1}$)	4.06^{b}	79.31^{b}	3.28^{c}	0.01^{d}
		بدون مصرف No consumption	4.09^{b}	53.45^{f}	3.16^{c}	0.01^{d}
۸۰٪ شلغم علوفه‌ای + ۲۰٪ ریحان 80% Forage turnip + 20% basil	18.5 ($ton.ha^{-1}$)	5 ($ton.ha^{-1}$)	2.09^{e}	69.87^{b}	3.57^{b}	0.013^{c}
		بدون مصرف No consumption	2.70^{d}	66.98^{bc}	3.38^{bc}	0.011^{d}
	15 ($ton.ha^{-1}$)	5 ($ton.ha^{-1}$)	2.85^{d}	63.65^{c}	3.17^{c}	0.009^{e}
		بدون مصرف No consumption	4.15^{b}	54.22^{f}	2.51^{d}	0.006^{f}
۹۰٪ شلغم علوفه‌ای+ ۱۰٪ ریحان 90% Forage turnip + 10% basil	18.5 ($ton.ha^{-1}$)	5 ($ton.ha^{-1}$)	2.69^{d}	70.66^{b}	3.41^{bc}	0.012^{c}
		بدون مصرف No consumption	3.10^{c}	68.21^{b}	3.06^{c}	0.009^{e}
	15 ($ton.ha^{-1}$)	5 ($ton.ha^{-1}$)	3.15^{c}	64.98^{c}	2.55^{d}	0.008^{e}
		بدون مصرف No consumption	4.12^{b}	53.22^{f}	2.47^{d}	0.007^{f}
۱۰۰٪ شلغم علوفه‌ای 100% Forage turnip	18.5 ($ton.ha^{-1}$)	5 ($ton.ha^{-1}$)	2.14^{e}	60.43^{d}	2.93^{c}	0.013^{c}
		بدون مصرف No consumption	3.11^{c}	56.68^{e}	2.45^{d}	0.009^{e}
	15 ($ton.ha^{-1}$)	5 ($ton.ha^{-1}$)	4.08^{b}	53.44^{f}	2.27^{e}	0.007^{f}
		بدون مصرف No consumption	4.85^{a}	50.32^{g}	2.05^{f}	0.006^{g}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد)

* Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

نتایج حاصل از پژوهش حاضر با پژوهش سایر محققان مطابقت داشت(Sheng & Zhu, 2018)، آن‌ها گزارش کردند که بیوچار باعث افزایش تنفس خاک و افزایش زیست‌توده میکروبی خاک شده است. تنفس بیشتر در خاک‌های تیمار شده با بیوچار ممکن است به‌دلیل خاصیت ارگانیک بودن بیوچار می‌باشد که محیط را برای انتشار باکتری‌های بیشتر فراهم می‌کند (Zheng et al., 2018). کشت مخلوط باعث افزایش تنفس خاک شده است که عمدتاً از طریق تأثیر مثبت ریشه گیاهان است (Mariotti et al., 2009).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که کاربرد ورمی کمپوست با سطح ۱۸/۵ تن در هکتار موجب افزایش کیفیت برگ شلغم علوفه‌ای و تنفس خاک نسبت به سطح ۱۵ تن در هکتار شده است. افزودن ورمی‌کمپوست در خاک، به‌دلیل افزایش مواد آلی خاک، شرایط ایده‌آلی را برای فعالیت ریزجانداران خاک ایجاد کرده و موجب افزایش تنفس خاک شده است. با افزایش تنفس خاک و وجود عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف موجود در ورمی‌کمپوست و همچنین نگهداری آب توسط ورمی‌کمپوست، موجب فراهمی آب و مواد غذایی برای شلغم علوفه‌ای شده و کیفیت برگ این گیاه را افزایش داده است. علاوه‌براین، کاربرد بیوچار، به‌دلیل پتانسیل خود جهت نگهداری آب و مواد غذایی، مانع از آبشویی نیتروژن شد و با افزایش دسترسی گیاه به مواد غذایی پرمصرف و کم‌مصرف، عملکرد کیفی برگ شلغم علوفه‌ای را افزایش داد. بیوچار به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک موجب افزایش کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک شده که این امر منجر به افزایش تنفس خاک، نسبت به عدم مصرف آن شده است. بهترین نسبت کاشت۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان بوده است که می‌توان گفت به‌دلیل افزایش درصد ریحان و رقابت گیاهان برای استفاده بهتر از منابع رشدی مانند نور، آب و مواد غذایی صورت گرفته است و از طرف دیگر، ریحان به‌دلیل وجود مواد عطری، خاصیت دورکنندگی حشرات و آفات را برای گیاه همراه خود دارد، که همین دلیل سبب افزایش کیفیت برگ شلغم علوفه‌ای شد. کاربرد توأم ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار، بیوچار پنج تن در هکتار و نسبت کاشت ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان، بهترین تیمار این پژوهش بوده و قابل توصیه است.

References

1. Ahmadnia, F., Ebadi, A., Hashemi, M., & Ghavidel, A. (2020). Investigating the short time effect of cover crops on physical and biological properties of soil. *Journal of Water and Soil Conservation*, *26*(6), 277-290. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22069/JWSC.2019.16172.3145
2. Akhtar, S.S., Andersen, M.N., & Liu, F. (2015). Residual effects of biochar on improving growth physiology and yield of wheat under salt stress. *Agricultural Water Management*, *158*, 61–68. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.04.010
3. Alizadeh, Y., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2010). Investigating of growth characteristic, yield, yield components and potential weed control in intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and vegetative sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agroecology*, *2*(3), 383-397. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/JAG.V2I3.7652
4. Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy*, *23*, 112-121.
5. Asadi, S., Rezaei-chiyaneh, E., & Amirnia. R. (2020). Evaluation of ecophysiological characteristics of row intercropped linseed (*Linum usitatissimum* L.) with chickpea (*Cicer arietinum* L.) affected as fertilizer sources under dry land conditions. *Journal of Agroecology*, *12*(2), 241-264. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/JAG.V12I2.75309
6. Ayres, L. (2002). Forage brassicas: Quality crops for livestock production. *Journal of New South Wales Agriculture*, *2*, 1-13.
7. Badakhshan, S., Amiri-Nejad, M., Tohidi-Nejad, E., & Parsa Motlagh, B. (2021). Evaluation of yield and quality forage in intercropping tepary bean (*Phaseolus acutifolus* L. Gray) and millet cultivars. *Journal of Agroecolog*, *13*(2), 291-305. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/jag.v13i2.83847
8. Bertin, P., Bouharmont, J., & Kinet, J.M. (1996). Soma clonal variation and improvement in chilling tolerance in rice. *Journal of Plant Breeding*, *115*, 268-273.
9. Carocho, M., Barros, L., Calhelha, R.C., Ciric, A., Sokovic, M., Santos-Buelga, C., Morales, P., & Ferreira

Isabel, C.F.R. (2015). Potential of basil (*Ocimum basilicum* L.) as bioactive ingredient and natural preserver. 5th MoniQA International Conference, Porto, Portugal.

10. Cong, W.F., Hoffland, E., Li, L., Six, J., Sun, J.H., Bao, X.G., Zhang, F., & Vander Werf, W. (2015). Intercropping enhances soil carbon and nitrogen. *Journal of Global Change Biological, 21*, 1715–1726.
11. Dai, J., Qiu, W., Wang, N., Nakanishi, H., & Zuo, Y. (2018). Comparative transcriptomic analysis of the roots of intercropped peanut and maize reveals novel insights into peanut iron nutrition. *Journal of Plant Physiological Biochemistry, 127*, 516–524. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.04.024.
12. Dazy, M., Jung, V., Ferard, J., & Masfaraud, J. (2008). Ecological recovery of vegetation on a coke-factory soil: Role of plant antioxidant enzymes and possible implication in site restoration. *Journal of Chemosphere, 74*, 57-63.
13. Demir, Z. (2019). Effects of vermicompost on soil physicochemical properties and lettuce (*Lactuca sativa* var. *Crispa*) yield in greenhouse under different soil water regimes. *Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis, 50*(17), 2151-2168. https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1654508
14. Dias, M.C., Monteiro, C., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Gonc¸alves, B., & Santos, C. (2013). Cadmium toxicity affects photosynthesis and plant growth at different levels. *Journal of Acts Physiologic Plant, 35*(4), 1281–1289.
15. Dragicevic, V., Oljaca, S., Stojiljkovic, M., Simic, M., Dolijanovic, Z., & Kravic, N. (2015). Effect of the maize-soybean intercropping system on the potential bioavailability of magnesium, iron and zinc. *Journal of Crop Pasture Science, 66*, 1118–1127. https://doi.org/10.1071/CP14211
16. Ehteshami, S.M.R., Ebrahimi, P., & Zand, B. (2011). Investigation of quantitative and qualitative characteristics of silage corn genotypes in Varamin region. *Journal of Crop Production, 5*(4), 19-38. (In Persian with English Summary)
17. Fang, J., Zhan, L., Ok, Y.S., & Gao, B. (2018). Mini review of potential applications of hydro char derived from hydrothermal carbonization of biomass. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 57*, 15–21. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.08.026
18. Ferrat, I.L., & Loval, C.J. (1999). Relation between relative water content, nitrogen pools, and growth of *P. vulgaris* and *P. acutifolius* during water deficit. *Journal of Crop Science, 39*, 467-474.
19. Hafez, E.M., Omara, A.E.D., Alhumaydhi, F.A., & El-Esawi, M.A. (2021). Minimizing hazard impacts of soil salinity and water stress on wheat plants by soil application of vermicompost and biochar. *Journal of Physiological Plantarum, 172*, 587–602.. https://doi.org/10.1111/ppl.13261
20. Hale, S.E., Nurrida, N.L., Jubaedah, Mulder, J., Sormo, E., Silvani, L., Abiven, S., Joseph, S., Taherymoosavi, S., & Cornelissen, G. (2020). The effect of biochar, lime and ash on maize yield in a long-term field trial in an Ultisol in the humid tropics. *Journal of Science of the Total Environment, 719*, 137455. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137455.
21. Hammer, E.C., Forstreuter, M., Rillig, M.C., & Kohler, J. (2015). Biochar increases arbuscular mycorrhizal plant growth enhancement and ameliorates salinity stress. *Journal of Applied Soil Ecology, 96*, 114–121.
22. Himmelstein, J., Ares, A., Gallagher, D., & Myers, J. (2017). A meta-analysis of intercropping in Africa: Impacts on crop yield, farmer income, and integrated pest management effects. *International Journal of Agricultural Sustainability, 15*, 1–10. https://doi.org/10.1080/14735903.2016.1242332
23. Hussain, S.A., Panjagari, N.R., Singh, R.R.B., & Patil, G.R. (2015). Potential herbs and herbal nutraceuticals: Food applications and their interactions with food components. *Journal of Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 55*, 94–122.
24. Isermeyer, H. (1952). A simple method for determining soil formation and carbonates in soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 56*, 26-38.
25. Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A.C., van Groenigen, J.W., Hungate, B.A., & Verheijen, F. (2017). Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Journal of Environmental Research Letter, 12*, 053001.
26. Jjagwe, J., Chelimo, K., Karungi, J., Komakech, A.J., & Lederer, J. (2020). Comparative performance of organic fertilizers in maize (*Zea mays* L.) growth, yield, and economic results. *Journal of Agronomy, 10*(1), 69-92. https://doi.org/10.3390/agronomy10010069
27. Lakhdar, A., Rabhi, M., Ghnaya, T., Montemurro, F., Jedidi, N., & Abdelly, C. (2009). Effectiveness of

compost use in salt-affected soil. *Journal of Hazardous Materials, 171*, 29-37.

28. Li, L., Tilman, D., Lambers, H., & Zhang, F.S. (2014). Plant diversity and over yielding: Insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. *Journal of New Physiologist, 203*, 63–69.
29. Li, H., Ge, Y., Luo, Z., Zhou, Y., Zhang, X., Zhang, J., & Fu, Q. (2017). Evaluation of the chemical composition, antioxidant and anti-inflammatory activities of distillate and residue fractions of sweet basil essential oil. *Journal of Food Science Technology, 54*, 1882–1890.
30. Libutti, A., Trotta, V., & Rita Rivelli, A. (2020). Biochar, vermicompost, and compost as soil organic amendments: Influence on growth parameters, nitrate and chlorophyll content of Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *cycla*). *Journal of Agronomy, 346*(10), 1-18. https://doi.org/10.3390/agronomy10030346
31. Lopes, T., Hatt, S., Xu, Q., Chen, J., Liu, Y., & Francis, F. (2016). Wheat (*Triticum aestivum* L.)-based intercropping systems for biological pest control. *Journal of Pest Management Science, 72*, 2193–2202.
32. Mariotti, M., Masoni, A., Ercoli, L., & Arduini, I. (2009). Above- and below-ground competition between barley, wheat, lupin and vetch in a cereal and legume intercropping system. *Journal of Grass Forage Science, 64*, 401–412.
33. Munoz, C., Gongora, S., & Zagal, E. (2016). Use of biochar as a soil amendment: A brief review. *Journal of Chilean Agricultural and Animal Sciences, 32*, 37–47.
34. Naser, J., Shaho, Z., Arshad, A., Jones, F.G., Liu, S., Li, C., Zubair Khan, M., Khan, T., Kalunguzya Banda, J.S., Zhou, X., & Gao, Q. (2020). The effect of maize-alfalfa intercropping on the physiological characteristics, Nitrogen uptake and yield of Maize. *Journal of Plant Biology, 22*(6), 1140-1149.
35. Nohong, B., Rinduwati, M., & Yusuf, M. (2020). Influence of different vermicompost levels on growth, yield and quality of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Digital meeting, p. 1-5. https://doi.org/10.1088/1755-1315/492/1/012029
36. Ochiai, S., Iwabuchi, K., Itoh, T., Watanabe, T., Osaki, M., & Taniguro, K. (2021). Effects of different feedstock type and carbonization temperature of biochar on oat growth and nitrogen uptake in Co application with compost. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21*(1), 276-285. http://hdl.handle.net/2115/84207
37. Rajaie, M., Attarzadeh, M., Mosavi, S.H., & Attarzadeh, M. (2015). Using licorice compost (*Glycyrizha glabra*) to reduce the water stress effect in greenhouse cucumber. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 25*(3), 79-90. (In Persian with English Summary)
38. Ramnarain, V.I., Ori, L., & Ansari, A.A. (2018). Effect of the use of vermicompost on the plant growth parameters of pak choi (*Brassica rapa* var. *chinensis*) and on the soil structure in Suriname. *Journal of Global Agriculture and Ecology, 8*(1), 8-15.
39. Roumani, A., Ehteshami, S.M.R., & Rabiei, M. (2015). Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on forage quality and yield of turnip (*Brassica rapa* L.) at the different values of nitrogen and phosphorus fertilizers. *Journal of Plant Production Technology, 14*(2), 89-99. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/GSC.V12I4.27654
40. Sheligl, H.Q. (1986). Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. *Journal of Planta*, 47-51.
41. Sheng, Y., & Zhu, L. (2018). Biochar alters microbial community and carbon sequestration potential across different soil pH. *Journal of Science Total Environ, 622*, 1391–1399. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.337.
42. Shubha, K.Y., Prathibha, A.C., Nayana, B., & Suhasini, R. (2011). Environment friendly strategy to increase antioxidant content and produce of *Sauropus androgynous*. *Journal of Life Science International Quarter, 6*, 567-569.
43. Smart, A., Jeranyama, P., & Owens. V. (2004). The use of turnips for extending the grazing season. South Dakota State University. Extension Extra, p. 66.
44. Sullivan, P. (2003). Intercropping principles and production practices. *Journal of Agronomy Systems Guide, 1*, 1-12.
45. Theunissen, J., Ndakidemi, P., & Laubscher, C. (2010). Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *International Journal of the Physical Sciences, 5*(13), 1964-1973.
46. Torabian, S., Farhangi-Abriz, S., & Rathjen, J. (2018). Biochar and lignite affect H^+-ATPase and H^+ -PPase activities in root tonoplast and nutrient contents of mung bean under salt stress. *Journal of Plant Physiology and*

Biochemistry, *129*, 141–149. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.030

47. Weerarathne, L.V.Y., Marambe, B., & Chauhan, B.S. (2017). Does intercropping play a role in alleviating weeds in cassava as a non-chemical tool of weed management? – A review. *Journal of Crop Protection*, *95*, 81–88.
48. Wu, C., Huan, Y., Yang, L., Lin, L., Liao, M., Wang, J., Wang, Z., Liang, D., Xia, H., Tang, Y., Lv, X., & Wang, X. (2020). Effects of intercropping with two *Solanum* species on the growth and cadmium accumulation of *Cyphomandra betacea* seedlings. *International Journal of Phytoremediation*, *42*, 1-7. https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1759505.
49. Yin, D., Wang, X., Peng, B., Tang, C., & Ma, L. Q. (2017). Effect of biochar and Fe-biochar on Cd and as mobility and transfer in soil-rice system. *Journal of Chemosphere*, *186*, 926-937. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.126
50. Zheng, H., Wang, X., Luo, X., Wang, Z., & Xing, B. (2018). Biochar-induced negative carbon mineralization priming effects in a coastal wetland soil: Roles of soil aggregation and microbial modulation. *Journal of Science Total Environ*, *610*, 951–960. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.166.

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

Research Article
Vol. 16, No. 1, 2024, p. 19-45

Effects of Tillage Types on Morpho-Physiological Characteristics and Forage Quality of Vetch (*Vicia pannonica*) in Rainfed Condition

Seyed Shahram Elyasi[1], Alireza Pirzad[2*], Jalal Jalilian[3], Ebrahim Roohi[4] and Adel Siosemardeh[5]

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.
4- Assistant Professor, Horticultural and Crop Science Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) Sanandaj, Iran
5- Associate professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Kurdistan University, Sanandaj, Iran
(*- Corresponding author's Email: a.pirzad@urmia.ac.ir)

Received: 18-05-2022
Revised: 30-07-2022
Accepted: 31-08-2022
Available Online: 31-08-2022

How to cite this article:
Elyasi, S.S., Pirzad, A., Jalilian, J., Roohi, E., & Siosemardeh, A. (2024). Effects of tillage types on morpho-physiological characteristics and forage quality of vetch (*Vicia pannonica*) in rainfed condition. *Journal of Agroecology, 16*(1), 19-45. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2022.76580.1109

Introduction

Vetches are especially important due to their resistance to cold and water-deficient stresses, and due to the high amount of crude protein and detergent fibers, they have the same nutritional value as alfalfa and clover. Planting vetch can increase soil nitrogen due to the symbiosis of its root nodes with Rhizobium bacteria. No-tillage reserves more moisture in the soil than other tillage systems. No-tillage and reduced tillage significantly increase mycorrhizal fungi in soil compared to conventional tillage. Increased leaf area index (LAI) and dry matter in plants under reduced and no-tillage systems have been observed, too. Also, increases in chlorophyll concentration, decreases in canopy temperature, increases in plant height and improvements in forage quality in plants under a no-tillage system have been reported. This experiment evaluated the effects of different types of tillage on morpho-physiological traits related to yield and quality of vetch forage to protect the soil and select the best tillage system.

Materials and Methods

This experiment was carried out in Saral Rainfed Agricultural Research Station located 55 km north of Sanandaj county, Kurdistan province, in the west of Iran. The effects of reduce tillage (RT), no-tillage (NT) and conventional tillage (CT) systems were evaluated on rainfed vetch in rotation with wheat during two years (2018-02019). Sowing date was 18 and 9th of October in the two experimental years respectively. All sampling of rhizobium nodules, relative leaf water content, leaf area index, chlorophyll and carotenoids, chlorophyll fluorescence, canopy temperature, enzymes, proline, hydrogen peroxide, malondialdehyde, leaf soluble proteins and carbohydrates, leaf elements took place in early seed filling stage. The combined (2-year data) analysis of variance (ANOVA) was performed using SAS software by the general linear model (GLM). The means value

©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.2022.76580.1109

were compared using Duncan's range test at $P \leq 0.05$.

Results and Discussion

In this study, the yield of dry forage in reduced and no-tillage systems increased by 14 and 24%, respectively, compared to CT. A significant relationship ($R = 0.75^{*}$) was obtained between the relative leaf water content and dry forage yield. According to the results, vetch in the no-tillage system had the highest percentage of colonization (30.16%), the number of fungal spores (179.8), and rhizobium nodes (12.16) on the roots. The high symbiosis of mycorrhizal fungi in RT and NT compared to CT was probably due to higher water uptake and higher RWC. In the present study, vetches under the NT system probably had higher chlorophyll a and b concentration due to more moisture and higher nitrogen and phosphorus in leaves. The results showed that the tillage treatments had significant effects on the activity of reactive oxygen species (ROS), which was directly related to the amount of plant moisture and antioxidant enzymes. The lowest activity of enzymes was in vetches under a no-tillage system.

Conclusion

In this experiment, reduced and no-tillage systems increased yield compared to conventional tillage. Significant increases in relative leaf water content and canopy temperature difference were observed in different types of tillage. Chlorophyll content and carotenoids in plants grown in the conventional tillage were lower than in reduce and no-tillage systems. The percentage of colonization, sporulation of mycorrhizal fungi, and the number of rhizobium nodes were higher in no-tillage system. The levels of antioxidant enzymes, hydrogen peroxide, malondialdehyde, and proline increased in CT compared to RT and NT. Types of tillage in rainfed conditions due to biological and structural changes in the soil cause positive morpho-physiological changes and forage quality in rainfed vetch seem to be effective in increasing yield and improving growth conditions.

Keywords: Chlorophyll, Forage, Mycorrhiza, Near-infrared reflectance (NIR), Oxidant, Relative leaf water content

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص ۴۵-۱۹

اثر انواع خاک‌ورزی بر خصوصیات مورفو- فیزیولوژیکی و کیفیت علوفه گیاه ماشک گل سفید (*Vicia pannonica*) در شرایط دیم

سید شهرام الیاسی[۱]، علیرضا پیرزاد[۲*]، جلال جلیلیان[۳]، ابراهیم روحی[۴] و عادل سی و سه مرده[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۹

چکیده

به‌منظور تأثیر انواع خاک‌ورزی بر خصوصیات مورفو- فیزیولوژیکی مرتبط با عملکرد کمّی، کیفی و ارزش علوفه‌ای گیاه ماشک (*Vicia pannonica*) در تناوب زراعی با گندم آزمایش حاضر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در سال‌های ۱۳۹۸- ۱۳۹۶ اجرا شد. تیمارها شامل کاشت گیاه ماشک به‌صورت کم‌خاک‌ورزی، کشت مستقیم و خاک‌ورزی مرسوم اعمال شد. در تیمار کشت مرسوم شاخص سطح برگ، عملکرد کوانتومی، رطوبت نسبی برگ، نیتروژن و فسفر برگ به‌ترتیب نسبت به کم‌خاک‌ورزی و کاشت مستقیم کاهش داشتند. کاشت مرسوم باعث کاهش کلروفیل در برگ‌ها به‌میزان ۲۰/۱ و ۳۵/۶ درصد به‌ترتیب نسبت به کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم شد. بیشترین میزان تغییرات دمای تاج‌پوشش با محیط در تیمار بدون خاک‌ورزی بود و همبستگی معنی‌داری (R=۰/۹۸**) با رطوبت نسبی برگ داشت. کمترین مقدار آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت شامل کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز در برگ گیاهان کشت شده به‌روش کشت مستقیم و بیشترین میزان در کشت مرسوم مشاهده شدند. میزان کلونیزاسیون و اسپوریزاسیون قارچ‌های مایکوریزا و همچنین تعداد گره‌های ریزوبیومی در کشت مستقیم افزایش معنی‌داری را به‌ترتیب نسبت به تیمار کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم داشتند. کشت مستقیم باعث افزایش درصد هضم‌پذیری علوفه شد که همبستگی معنی‌داری (R=۰/۹۶**) با کاهش دمای تاج‌پوشش داشت. نتایج در این آزمایش نشان دادند که صفات مورفو- فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده و کیفیت علوفه در گیاه ماشک تحت تأثیر انواع خاک‌ورزی قرار گرفتند، به‌طوری‌که بهبود وضعیت در تمامی صفات در کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی نسبت به کشت مرسوم حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: اکسیدانت، رطوبت نسبی برگ، طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR)، کلروفیل، مایکوریزا

مقدمه

هرساله حدود دو تا سه میلیون هکتار از اراضی دیم در کشور ایران (تقریباً ۵۰ درصد) تحت شرایط آیش می‌باشد و سهم گیاهان علوفه‌ای یک ساله در تناوب زراعی دیم‌زارها بسیار ناچیز است (Alizadeh & Silva., 2013). ماشک‌ها (*Vicia* spp.) با حدود ۱۵۰ گونه مختلف از گیاهان تیره Fabaceae دارای ارزش غذایی یکسانی با یونجه (*Medicago sativa*)، شبدر (*Trifolium* spp) و سایر گیاهان خانواده لگومینوز هستند (Firincioglu et al., 2010; Abdullah et al., 2010) و از دیرباز کشت آن‌ها رایج بوده است (Rastegar, 2005). ارزش غذایی یونجه با ماشک برابر است، امّا تغذیه با ماشک باعث ایجاد نفخ در دام‌ها نمی‌شود (Kurdali, 1996).

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران.
۴- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات وآموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران
۵- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی،دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: a.pirzad@urmia.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2022.76580.1109

سطح زیر کشت نباتات علوفه‌ای دیم در ایران در حدود ۱۰۰هزار هکتار با تولید ۶۶۲۴۰۰ تن است که سهم ماشک بسیار اندک و آمار دقیقی از سطح زیر کشت آن در کشور موجود نیست (Ministry of Agricultural Jahad, 2020). کیفیت علوفه ماشک گل سفید (*Hungarian vetch*) بیشتر به‌واسطه پروتئین خام و میزان الیاف شوینده مشخص می‌شود که این صفات کیفی غالباً متأثر از میزان علوفه و تازگی آن می‌باشد (Broderick, 1995). ماشک‌ها با توجه به مقاومت در مقابل سرما و کم‌آبی به‌صورت ویژه مورد توجه می‌باشند (Alizadeh, 2019). کاشت گیاه ماشک در اراضی کم‌بازده می‌تواند به‌دلیل تثبیت نیتروژن اتمسفر به‌واسطه همزیستی گره‌های ریشه‌ای خود با باکتری ریزوبیوم (*Rhizobium leguminosarum*) موجب افزایش نیتروژن خاک شده و مصرف کودهای نیتروژنی را کاهش دهد (Rebole et al., 2004) علاوه‌براین در تولید کود سبز، کنترل علف‌های هرز و تناوب زراعی به‌جهت حذف آیش و بهره‌برداری بیشتر از اراضی مؤثر است (Abdullah et al., Firincioglu et al., 2010; 2010). از طرف دیگر، باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن سبب افزایش تقسیم سلولی در ریشه، تغییر مورفولوژی ریشه، افزایش تارهای کشنده و افزایش جذب مواد غذایی مؤثرند (Mirzakhani et al., 2010).

برخی از محققان، پایداری و یا افزایش عملکرد محصولات زراعی را در نتیجه اجرای کشاورزی حفاظتی گزارش کردند (Hansen et Rusinamhodzi et al., 2011; Ngwira et al., al., 2012; 2012). کشاورزی حفاظتی سه اصل مدیریتی را شامل حداقل به هم خوردگی خاک (شامل بدون خاک‌ورزی)، تناوب و نگهداری بقایای گیاهی حداقل ۳۰ درصد در سطح خاک در مزارع ارائه می‌دهد (Corsi FAO, 2016& Muminjanov, 2019;). محققان در بررسی گیاهان ذرت (*Zea mays*) و گندم (*Triticum aestivum*) اعلام کردند که با افزایش هر نیم درصد کربن آلی خاک، عملکرد ۲۰ درصد افزایش می‌یابد و بهترین عملکرد دانه در خاک‌هایی با ماده آلی یک تا دو درصد اتفاق می‌افتد (Oldfield et al., 2019). کشت مستقیم باعث بهبود ظرفیت حفظ و ذخیره آب خاک، افزایش میزان فتوسنتز خالص، افزایش کارایی مصرف آب انتقالی در گیاه و تجمع ماده خشک گردید که باعث افزایش عملکرد در گندم (Hemmat & wang et al., 2015; Piggin et al., 2015; Eskandari., 2006; Chaieb et al., 2020) و نخود (Kaschuk Piggin et al., 2015 et al., 2010;) شد. بیشترین میزان کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل استخراج خاک در کشت مستقیم نسبت به سایر انواع خاک‌ورزی گزارش شده است (Shiwakoti et al., 2019). افزایش اندازه گره‌های ریشه را بر روی گیاه بادام زمینی که در تیمارهای کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی قرار داشتند، نسبت به کاشت مرسوم گزارش شده است (Rowland et al., 2015). محققان اعلام کردند که کشت بدون شخم موجب حفظ رطوبت و تأمین آب قابل دسترس بیشتر برای گیاه می‌شود (Sapkota et al., 2014) و کشت بدون شخم نسبت به دیگر نظام‌های خاک‌ورزی، بیشترین رطوبت را در خاک دارد (Lampurlanes et al., 2016 ;Safari et al., 2014).

یکی از نشانه‌های وضعیت آب خاک محتوای نسبی آب گیاه (RWC[1]) است که به‌عنوان شاخص مهمی در تنش خشکی در برگ اندازه‌گیری می‌شود و رابطه مستقیمی با رطوبت خاک دارد (Sarker Merah, 2001et al., 1999;). بالا بودن محتوای نسبی آب در شرایط کم‌آبی می‌تواند با رفتار روزنه‌ها و سیستم ریشه‌ای گیاه در ارتباط باشد، زیرا حفظ محتوای رطوبتی درونی گیاه نیاز به داشتن ریشه عمیق و کارا در جهت جذب آب دارد (Saglam et al., 2008). از نشانه‌های تنش کم‌آبی در گیاه می‌توان به تغییرات میزان آب نسبی برگ، فلورسنس کلروفیل[2] و تجمع پرولین اشاره کرد (Farshadfar & Mohammadi., 2003). تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه باعث کاهش محتوای کلروفیل، سرعت فتوسنتز و افزایش دمای برگ می‌شود (Hirayama et al., 2006).

کاهش آب خاک و تنش خشکی باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود. گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن دارای سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی (آنزیمی و غیرآنزیمی) کارآمد هستند (Anjum et al., 2011a, 2011b). آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD[3])، پراکسیداز (POD[4])، کاتالاز (CAT[5])، آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز، گلوتاتیون پراکسیداز و آنتی‌اکسیدانت‌های غیر آنزیمی مانند آسکوربیک اسید (ویتامین C)، گلوتاتیون، آلفاتوکوفرول (ویتامین E)، کارتونوئیدها و فلانوئیدها می‌باشند که همگی در جهت کاهش اثرات تنش اکسیداتیو عمل می‌کنند (Gill & Tuteja, 2010).

همزیستی قارچ‌های مایکوریزایی با ریشه، گیاهان میزبان را قادر

1- Relative water content
2- Chlorophyll fluorescence
3- Superoxide dismutase
4- Peroxidase
5- Catalase

به تحمل تنش خشکی می‌کند که می‌تواند نقش اساسی در بهبود تولید محصولات کشاورزی داشته باشد (Al-Karaki et al., 2004). محققان نشان دادند که احتمالاً همزیستی مایکوریزایی از طریق ایجاد تغییرات در مورفولوژی و طویل کردن سیستم ریشه گیاهان میزبان و افزایش سطح تماس از طریق میسیلیوم‌های قارچ، حجم آب بیشتری جذب کرده که موجب بهبود روابط آبی گیاه می‌شود (Auge et al., 2015). رابطه همزیستی بین قارچ مایکوریزا و ریشه گیاهان عالی به صورت قابل توجهی به تغذیه و رشد گیاه کمک می‌کند، همچنین باعث افزایش آب نسبی برگ (RWC) و پروتئین برگ‌ها می‌شود (Auge, 2001). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کشت بدون شخم به‌صورت معنی‌داری منجر به افزایش تراکم قارچ‌های مایکوریزا در خاک نسبت به شخم متداول می‌شود (Thierfelder & Wall, 2010).

مطالعات در مورد نقش شاخص سطح برگ (LAI[1]) و فتوسنتز خالص (NAR[2]) در تجمع ماده خشک ممکن است پایه‌ای علمی برای دستیابی به عملکرد بالا از طریق تنظیم خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان باشد (Qiu et al., 2017). افزایش شاخص سطح برگ (LAI)، دوام سطح برگ (LAD[3]) و افزایش ماده خشک دانه در گیاهان کشت شده به‌روش کم‌خاک‌ورزی مشاهده شده است (Wasaya et al., 2017). محققان کاهش سطح برگ در تنش رطوبتی را اعلام کردند (Amiri Deh Ahmadi et al., 2010). از مهم ترین دلایل احتمالی کاهش شاخص سطح برگ، کاهش فتوسنتز بر اثر تنش خشکی است (Tesfaye et al., 2006). محتوای کلروفیل برگ شاخصی کلیدی در جهت ظرفیت فتوسنتزی گیاهان است (Houborg et al., 2015Cannella et al., 2016 ;). فیورنتینی و همکاران (Fiorentini et al., 2019) در آزمایشات خود اختلاف معنی‌داری بین میزان غلظت کلروفیل برگ‌ها و انواع خاک‌ورزی مشاهده کردند، به‌طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل برگ در گیاهان تحت کشت مستقیم و کمترین به‌ترتیب در کشت کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم بود.

یکی از پارامترهای مهم جهت تشخیص وضعیت تنش درگیاهان اختلاف دمای تاج‌پوشش گیاهی با محیط و سنجش کلروفیل است. مقایسه تغییرات دمای تاج‌پوشش نسبت به دمای هوا امکان تشخیص ژنوتیپ‌های مختلف در جهت ارتقای ژنتیکی غلات برای محدودیت‌های کمبود آب را فراهم می‌سازد (Blum et al., 1998). محققان همچنین با سنجش کلروفیل فلورسانس در جهت مطالعه تنش‌های گیاهان (Guidi & Calatayud, 2014) مانند تنش خشکی (Zivcak et al., 2013Flexas et al., 2002 ;) و تنش گرمایی (Brestic et al., 2012Kalaji et al., 2011 ;) استفاده می کنند. تحقیقات در یک آزمایش چهار ساله بر روی گیاه نخود، بهبود عملکرد دانه را در کشت مستقیم (No-tillage) نسبت به کشت مرسوم نشان دادند (Piggin et al., 2015). همچنین، محققان افزایش میزان نیتروژن در قسمت‌های مختلف گیاه نخود کشت شده در سیستم کاشت مستقیم نسبت به کشت مرسوم را گزارش کردند (Torabian et al., 2019). در این آزمایش، تأثیرات انواع خاک‌ورزی بر صفات مورفو- فیزیولوژیکی مرتبط با عملکرد و کیفیت علوفه گیاه ماشک در جهت حفاظت از خاک و انتخاب بهترین روش کاشت مورد ارزیابی قرار گرفت. به عبارت دیگر، تغییرات احتمالی در شرایط رطوبتی گیاه به‌وسیله کاهش عملیات خاک‌ورزی به‌ویژه کشت مستقیم بدون خاک‌ورزی و اثرگذاری آن‌ها بر روابط آبی، عملکرد و کیفیت علوفه با توجه به شرایط مورفو- فیزیولوژیکی گیاه بررسی شد.

مواد و روش‌ها

در این بررسی، اثرات روش‌های کم خاک‌ورزی، بدون‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم در گیاه ماشک دیم و در تناوب با گندم (داده‌ها نشان داده نشده است) مورد مطالعه قرار گرفت و در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سارال واقع در ۵۵ کیلومتری شمال شهرستان سنندج در استان کردستان با مشخصات جغرافیایی ″۹ ′۴۰ °۳۵ شمالی و ″۴۵ ′۷ °۴۷ شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۲۱۰۰ متر به‌مدت دو سال زراعی (۱۳۹۸- ۱۳۹۶) انجام شد. با توجه به اینکه رسیدن به نتایج قابل قبول مورفو- فیزیولوژیکی در گیاهان و بهبود شرایط خاک در انجام خاک‌ورزی‌های کاهشی، نیازمند سپری شدن پروسه زمانی حداقل سه تا چهار ساله است (Qingjiea et al., 2014) این آزمایش در ادامه تحقیقی چهار ساله در ایستگاه سارال به‌صورت مستقل از آن و محدود به بررسی خصوصیات مورفو- فیزیولوژیکی و کیفیت علوفه گیاه ماشک از ابتدای سال سوم تحقیق فوق شروع و به‌مدت دو سال

1- Leaf area index
2- Net assimilation rate
3- Leaf area duration

زراعی انجام شد. تاریخ کاشت در دوسال آزمایش بـه‌ترتیـب ۲۶ مهـر ۱۳۹۶و ۱۷ مهر ۱۳۹۷و محصول سال قبل از آزمایش گندم بود که در سه سال گذشته به‌طور متناوب با ماشک کشت شده بود. در کم‌خاک-ورزی، بعد از برداشت محصول گندم سال قبل در تابستان از دسـتگاه خاک‌ورز (مدل دلتا– ۵ ساخت شـرکت سـازه کشـت کـاوه – ایـران) استفاده شد، در کشت مستقیم بدون انجام هیچ گونـه عملیـات تهیـه زمین، بعد از کشت محصول و در بهار سال بعد به‌صورت شیمیایی بـا سم لنتاگران (pyridate 2 $Lit.ha^{-1}$) و سوپر گالانت (0.7 $Lit.ha^{-1}$) با علف‌های هرز مبارزه گردید. در روش مرسوم، عملیـات خـاک‌ورزی سنتی معمول در منطقه شامل شخم با گاوآهن برگـردان‌دار و دیسـک متقاطع ساخت ایران انجام شد. در کلیه تیمارهای خاک‌ورزی کاشت با کارنده مدل ASKE-2200 ساخت شرکت سازه کشـت کـاوه بوکـان کشور ایران انجام شد.

میزان کود و رقم ماشک: در این آزمایش از رقم ماشک گـل سفید با تیپ رشدی پاییزه مخصوص مناطق سردسیر استفاده شد کـه بذر آن از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی کردستان تهیـه گردیـد. در هر دو سال آزمایش، میزان بذر مصرفی ۱۲۰ کیلوگرم در هکتـار و کاشت با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر صـورت گرفـت. بعـد از آزمـایش خاک از عمق ۳۰–۰ سانتی‌متری، نوع خاک با خصوصیات بافت لومی، میزان فسفر قابـل جـذب (۷/۳ $mg.kg^{-1}$)، درصـد مـاده آلـی (۰/۶۲)، درصد نیتروژن (۰/۰۷) و هدایت الکتریکی (۰/۳۷۵ دسی زیمـنس بـر متر) مشخص شد. به‌منظور تأمین نیاز غذایی گیاه با توجه به آزمـایش خاک، میزان ۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره و ۵۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل در هکتار به هنگام کاشت استفاده شد.

زمان نمونه‌برداری‌ها: تمام نمونه‌برداری‌های مربوط به تعـداد گره ریزوبیـومی، محتـوای نسـبی آب بـرگ، شـاخص سـطح بـرگ، کلروفیل و کاروتنوئید، فلورسانس کلروفیل، دمای تاج‌پوشش، آنزیم‌ها، پرولین، پراکسید هیدروژن، مالون د آلدئیـد، پـروتئین و کربوهیـدرات-های محلول برگ، عناصـر بـرگ و کیفیـت علوفـه در مرحلـه اوایـل پرشدن دانه (اول تیـر ۱۳۹۷و ۱۳۹۸ معـادل ۹۹۰ GDD[1] و ۲۴۸ روز پس از کاشت در سال اول و ۹۵۳ GDD و ۲۵۷ روز پس از کاشت در سال دوم) صورت گرفت.

عملکرد و ارتفاع گیاه: بـرای تعیـین عملکـرد دانـه، عملکـرد بیولوژیک و شاخص برداشت در زمان رسیدگی فیزیولوژیـک (۱۷ تیـر ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸، ۱۲۹۳ GDD و ۲۶۴ روز پس از کاشت در سال اول و ۱۲۴۹ GDD و ۲۷۳ روز پس از کاشت در سال دوم) با در نظر گرفتن حذف اثرات حاشیه از قسمت‌های میانی هر واحـد آزمایشـی مسـاحت سه مترمربع برداشت شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع در مرحله رسـیدگی فیزیولوژیک، ۱۵ بوته ماشک به‌طور تصـادفی از هـر واحـد آزمایشـی انتخاب و با متر دقیق ارتفاع از سطح خـاک تـا بـالاترین نقطـه گیـاه مشخص گردید (Mafakheri et al., 2010).

صفات فیزیولوژیک:

محتوای نسبی آب برگ (RWC[2]) : پس از انتخـاب تعـداد ۲۰ برگ هم‌اندازه و کاملاً توسعه‌یافته با توجه به معادله زیر تعیین شد (Sairam et al., 2002).

معادله (۱)

$$RWC\% = ((\text{وزن تر} - \text{وزن خشک})/(\text{وزن تورژسانس} - \text{وزن خشک})) \times 100$$

شاخص سطح برگ (LAI) و سطح ویژه برگ (SLA[3]):

جهت تعین شاخص سطح برگ، تعداد ۱۰ بوته هم اندازه از هـر واحـد آزمایشی انتخاب شد و پس از حمل به آزمایشگاه، مساحت برگ‌ها بـا دستگاه سطح برگ‌سـنج مـدل دلتـا تـی (Delta-T) سـاخت کشـور انگلستان اندازه‌گیری و پس از قرار دادن در آون به‌مدت ۴۸ سـاعت و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد وزن خشک نیز جهـت انـدازه‌گیری سـطح ویژه برگ محاسبه شد (Ramamoorthy et al., 2016).

کلروفیل و کاروتنوئید: با توجه به روش ولبورن (Wellburn, 1994) و ژیو و همکاران (Xu et al., 2019) پس از انتخاب تصادفی برگ‌های توسعه‌یافتـه و قـرار دادن در نیتـروژن مـایع، بـا اسـتفاده از استون ۸۰ درصد عصاره برگ استخراج و میزان کلروفیل‌های a و b و کل همچنین کاروتنوئید توسط دستگاه اسـپکتوفتومتر مـدل Spekol 2000 ساخت شرکت Analytic Jena کشور آلمان اندازه‌گیری شد.

کلروفیل فلورسانس[4]: تمام پارامترهای کلروفیـل فلورسـانس شامل فلورسانس اولیه، حـداکثر و کـارایی کوانتـومی توسـط دسـتگاه جیبی مدل miniPPM-300 ساخت شرکت EARS کشور هلنـد بـه

1- Growing degree days

2- Relative water content
3- Specific leaf area
4 Chlorophyll fluorescence

روش زیواک و همکاران (Zivcak et al., 2013) با کمی تغییر که در اوایل شب بخاطر تطابق با تاریکی و ساعت ۱۰ صبح (روز) اندازه‌گیری شد.

معادله (۲)

Fm, Fm'= maximal level of fluorescence in the dark and light-adapted state

معادله (۳)

F0, F0' = minimal level of fluorescence in the dark and light-adapted state

Fv, Fv'= variable fluorescence معادله (۴)

معادله (۵)

(Fv/Fm) = (Fm-Fo)/Fm = Maximum photochemical quantum yield of PSII in the dark-adapted (Night)

معادله (۶)

(Fv'/Fm') = (Fm'-Fo')/Fm' =Maximum photochemical quantum yield of PSII in the light-adapted (Day)

دمای تاج‌پوشش (CTD[1]): برای تعیین دمای تاج‌پوشش از دماسنج مادون قرمز مدل Kiray100 ساخت شرکت KIMO کشور فرانسه استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها در ظهر خورشیدی انجام و به‌منظور به حداقل رساندن تأثیر زاویه خورشید، جهت رو به جنوب انتخاب شد، همزمان از دماسنج معمولی برای اندازه‌گیری درجه حرارت محیط استفاده شد. تفاوت درجه حرارت محیط و تاج‌پوشش به‌عنوان CTD منظور گردید (Reynolds et al., 2007).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

تهیه محلول آنزیمی:

پس از ساییدن برگ‌ها در نیتروژن مایع، در ۵۰ میلی مولار بافر فسفات سدیم[2] (pH=۷) حاوی دو میلی مولار EDTA و پنج میلی مول مرکاپتو اتانول[3] و چهار درصد (w/v) پلی وینیل پیرولیدون[4]-۴۰ (PVP-40) همگن شد. مواد مذکور به‌مدت ۳۰ دقیقه در ۲۰۰۰۰ دور و دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ (مدل 3K30 ساخت شرکت Sigma، آلمان) شد. از مایع رویی برای ارزیابی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (SOD,POX, CAT) استفاده شد.

کاتالاز: برای اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز توسط بافر فسفات سدیم و واکنش به تغییرات پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Spekol 2000 ساخت شرکت analytic jena کشور آلمان استفاده شد (Aebi, 1984).

پراکسیداز: برای اندازه‌گیری آنزیم پراکسیداز با استفاده از بافر فسفات سدیم و گویکول با توجه به تغییرات آنزیمی با وجود پراکسید هیدروژن به‌عنوان پذیرنده الکترون در طول موج ۴۷۰ نانومتر در دقیقه توسط دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری شد (MacAdam et al., 1992).

سوپر اکسید دیسموتاز: فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (Dhindsa et al., 1981) بر اساس بازدارندگی از احیای نوری نیتروبلوتترازولیوم (NBT) و در طول موج ۵۶۰ نانومتر ارزیابی شد.

پراکسید هیدروژن[5] (H_2O_2): اندازه‌گیری پراکسید هیدروژن (H_2O_2) به‌روش لورتو و ولیکوا (Loreto & Velikova, 2001) انجام شد. به این منظور، ۰/۵ گرم نمونه برگ را به همراه نیتروژن مایع در ظرف کوبیده و با پنج میلی لیتر تری‌کلرو استیک اسید[6] (TCA) یک درصد مخلوط گردید، سپس نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد و ۱۲۰۰۰ دور سانتریفوژ شدند. در ادامه، ۰/۷۵ میلی لیتر از مایع رویی با ۰/۷۵ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی مولار (pH=۷) و یک میلی لیتر محلول یک مولار یدید پتاسیم (KI) مخلوط شد. غلظت پراکسید هیدروژن نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۳۹۰ نانومتر با کمک منحنی استاندارد محاسبه شد.

پرولین: به‌منظور اندازه‌گیری محتوی پرولین، ۰/۵ گرم نمونه برگ تازه را در آون کوبیده و با اسید سولفوسالیسیلیک مایع سه درصد (w/v) هموژن شد، سپس با استفاده از معرف نین هیدرین[7]، غلظت پرولین محلول در تولوئن مایع توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Bates et al., 1973).

مالون د آلدئید[8] (MDA): برای اندازه‌گیری میزان مالون د آلدئید از روش ژانگ و کیو (Zhang & Qiu, 2004) شد. ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه‌های منجمد را در نیتروژن مایع خرد شد و پنج میلی‌لیتر

1- Canopy temperature depression
2- Sodium phosphate buffer
3- Mercaptoethanol
4- Polyvinylpyrrolidone -40

5- Hydrogen peroxide
6- trichloroacetic acid
7 ninhydrin
8- Malondialdehyde

محلول تریکلرواستیک اسید (TCA) یک درصد اضافه و مخلوط گردید سپس به‌مدت پنج دقیقه با ۱۴۰۰۰ دور در سانتریفیوژ (مدل 3K30 ساخت شرکت Sigma، آلمان) قرار داده شد. سپس به دو میلی لیتر محلول سانتریفیوژ شده، مقدار دو میلی لیتر محلول اسید تیوباربیتوریک[1] (TBA) نیم درصد اضافه شد و محلول به‌دست آمده را به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب داغ (بن ماری) ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد، بعد از آن به‌منظور توقف واکنش محلول را به‌سرعت به حمام آب یخ (آب دارای یخ صفر درجه) انتقال یافت و محلول سرد شده را به‌مدت ۱۰ دقیقه با ۱۰۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. در نهایت، نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج‌های ۴۵۰، ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری و میزان مالون د آلدئید بر اساس فرمول ذیل و به‌صورت $nmol.g^{-1}$ FW محاسبه شد:

معادله (۷)

$$MDA= 6.45 \times (A532 - A600) - 0.56 \times A450$$

پروتئین محلول برگ: برای اندازه‌گیری پروتئین‌های محلول برگ ۱۰ میکرولیتر از نمونه آزمایشی (عصاره) با ۹۹۰ میکرولیتر از محلول بردفورد را به‌آرامی مخلوط کرده، سپس توسط دستگاه اسپکتوفتومتر میزان جذب در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت گردید (Bradford, 1976).

کربوهیدارات محلول: پس از نمونه‌برداری برگ‌ها در مرحله اوایل پرشدن دانه، میزان کربوهیدرات محلول در آب و الکل بر اساس روش دوبویس و همکاران (Dubois et al., 1956) اندازه‌گیری شد.

فسفر برگ: برای تعیین غلظت فسفر برگ از روش زرد مولیبدات- وانادات (Kitson & Mellon, 1944) پس از قرار دادن نمونه‌ها در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و استفاده از اسید کلریدریک یک مولار عصاره مورد نیاز تهیه و پس از صاف کردن در طول موج ۴۳۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

نیتروژن برگ و دانه: جهت اندازه‌گیری میزان نیتروژن برگ (اوایل پرشدن دانه) و دانه (رسیدگی کامل) از روش کجلدال (Kjeldahl, 1883) استفاده شد. میزان پروتئین دانه نیز از حاصل ضرب نیتروژن هر نمونه در ۵/۷ تعیین شد (Owusu-Apenten, 2002).

معادله (۸) پروتئین دانه (٪) = درصد نیتروژن × ۵/۷

1- Thiobarbituric acid

کلونیزاسیون و اسپوریزاسیون قارچ مایکوریزا و گره ریزوبیومی: در مرحله اوایل پرشدن دانه پس از انتخاب تصادفی ۱۰ بوته از هر کرت و قرار دادن در آب به‌مدت پنج ساعت جهت پاکسازی بهتر ریشه از خاک و شستشوی آن، ریشه‌ها توسط محلول ۱۰ درصد KOH رنگ بری شده و به‌روش جوهر و سرکه (Vierheilig et al., 1998) ریشه‌ها رنگ‌آمیزی و درصد کلونیزاسیون به‌روش خطوط مشبک (Giovannetti & Mosse, 1980) تعیین شد. در زمان رسیدگی کامل برای تعیین میزان اسپوریزاسیون قارچ، از هرکرت به‌طور تصادفی خاک مجاور ریشه ۱۰ بوته تا عمق ۳۰ سانتی‌متر به‌عنوان نمونه برداشت و پس از مخلوط کردن، ۱۰ گرم از آن جهت جداسازی اسپور به‌روش استفاده از الک و ساکاروز (Brundrett et al., 1994Jiang et al., 2018 ;) انتخاب، سپس توسط میکروسکوپ الیمپوس مدل IX51 ساخت کشور ژاپن تعداد اسپورها شمارش شد. برای تعیین تعداد گره‌های ریزوبیومی در مرحله اوایل پرشدن دانه، تعداد شش بوته به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و تعداد گره‌ها بر روی ریشه شمارش و میانگین آن‌ها منظور گردید (Erman et al., 2011).

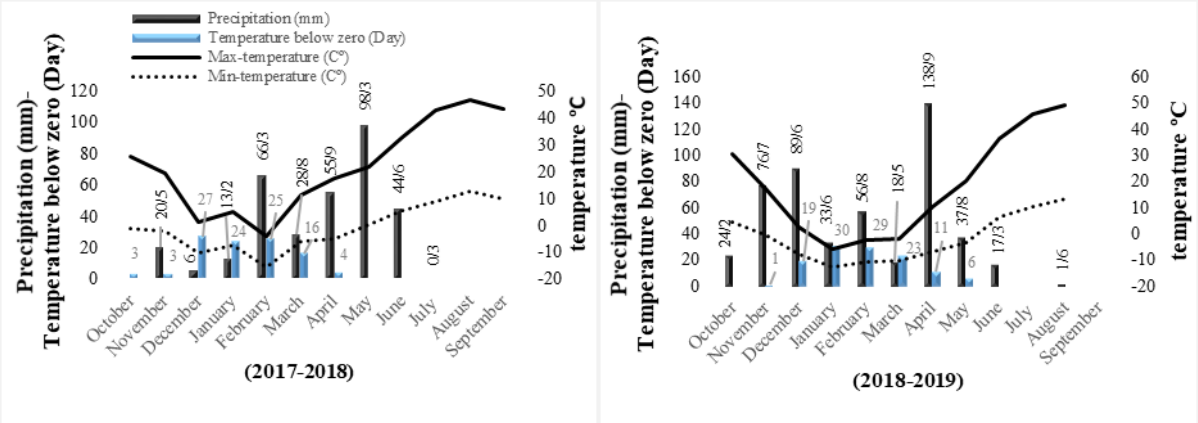
تعیین پارامترهای کیفیت علوفه: به‌منظور دستیابی به حداکثر تغییرات احتمالی در پارامترهای کیفیت علوفه بر اثر انواع خاک‌ورزی این صفت در سال آخر آزمایش به‌صورت یک ساله مورد ارزیابی قرار گرفت. در مرحله اوایل پرشدن دانه، پس از انتخاب تصادفی پنج بوته از هر کرت و قرار دادن کل قسمت‌های هوایی در آون به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه کاملاً خشک، سپس توسط آسیاب کاملاً پودر و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور جهت تعیین پارامترهای کیفیت علوفه با دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز نزدیک (NIR[2]) مدل انفراماتیک ۸۶۲۰ انتقال و اندازه‌گیری شد. کالیبره کردن دستگاه به‌روش جعفری و همکاران (Jafari et al., 2003) انجام گردید.

تحلیل آماری: تجزیه واریانس مرکب (دو ساله) داده‌ها و پارامترهای تعیین کیفیت علوفه (یک ساله) با استفاده از نرم‌افزار SAS و توسط مدل خطی عمومی (GLM) صورت گرفت. مقادیر میانگین‌ها با آزمون دانکن ($P \geq ۰/۰۵$) مقایسه شدند. نمودارها توسط نرم‌افزار Excel ترسیم و ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مرتبط و مقادیر معنی‌دار آن‌ها تعیین شد.

2- Near infrared reflecrtance spectroscopy

نتایج و بحث

با توجه به جداول تجزیه واریانس مرکب (جداول ۱، ۲، ۳ و ۴) اثر خاک‌ورزی بر صفات عملکرد، شاخص برداشت، ارتفاع گیاه، محتوای نسبی آب برگ، اختلاف دمای تاج‌پوشش با محیط، شاخص سطح برگ، سطح ویژه برگ، میزان کلروفیل و کاروتنوئید، کلروفیل فلورسانس، آنزیم‌ها، مالون د آلدئید، پراکسید هیدروژن، پرولین، پروتئین و کربوهیدرات‌های محلول برگ، عناصر فسفر و نیتروژن برگ، نیتروژن دانه، پروتئین خام دانه، کلونیزاسیون و اسپوریزاسیون قارچ مایکوریزا و تعدادگره‌های ریزوبیومی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد که نشان‌دهنده تفاوت اثر انواع خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم بر صفات می‌باشد.



شکل ۱- داده های دوساله هواشناسی (۱۳۹۸-۱۳۹۶) در محل آزمایش

Fig. 1- Meteorological data during two growing seasons (2017-2019) in experiment station

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مرکب اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر صفات مرتبط با عملکرد و ارتفاع گیاه ماشک

Table 1- Combined (2-year data) analysis of variance goes to effect of different tillage treatments on traits related to yield and plant height of *Pannonica vetch*

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	ارتفاع گیاه Plant height	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biologic yield	شاخص برداشت HI
سال Year	1	7620608**	670868**	848.7**	17923.5**	532856**	1.95ns
بلوک (سال) Block (year) (Y)	4	40660.6	7700.8	0.9	59.5	5999.3	0.75
خاک‌ورزی Tillage (T)	2	3388249.5**	347858.7**	122.5**	94169.3**	793884.2**	67.5**
سال × خاک‌ورزی Y × T	2	44294ns	3993.7ns	1.04ns	269.3ns	6690.8ns	0.36ns
خطا Error	8	12490.5	1299	2.08	636.2	1489.4	1.06
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		1.97	2.04	2.96	8.1	1.81	7.2

ns، * و **: به‌ترتیب نشانه عدم معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and **, respectively, 5% and 1% level of significance, ns is not significant

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر صفات فیزیولوژیک گیاه ماشک

Table 2- Combined (2-year data) analysis of variance goes to Effect of different tillage treatments on some physiological traits of *Pannonica vetch*

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	CTD	LAI	SLA	کلروفیل a Chloro-phyll a	کلروفیل b Chloro-phyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoids	Fv/Fm	Fv'/Fm'
سال Year	1	0.11**	1.71**	0.005**	0.071**	0.006**	0.136**	0.0006**	42.09**	9.23**
بلوک (سال) Block (year) (Y)	4	0.04	0.15	0.00000006	0.0048	0.0006	0.0097	0.00019	0.27	0.47
خاک‌ورزی Tillage (T)	2	5.08**	3.62**	0.00003**	0.67**	0.032**	1.04**	0.01**	47.32**	199/21**
سال × خاک‌ورزی Y × T	2	0.008ns	0.001ns	0.00000006ns	0.0049ns	0.0002ns	0.0005ns	0.00006ns	2.28ns	1.07ns
خطا Error	8	0.01	0.019	0.00000006	0.0028	0.0001	0.004	0.00003	0.56	0.91
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		4.99	5.2	1.94	3.37	4.06	3.34	2.36	0.98	2.07

LAI: شاخص سطح برگ، SLA: سطح ویژه برگ، CTD: اختلاف دمای تاج‌پوشش، Fv/Fm; Fv'/Fm': کارآیی کوانتومی فتوسیستم ۲ در شب و روز

ns، * و **: به‌ترتیب نشانه عدم معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد

CTD: Canopy temperature depression, LAI: leaf area index, SLA: Specific leaf area, Fv/Fm; Fv'/Fm': photosynthetic efficiency Night-Day

* and **, respectively, 5% and 1% level of significance, ns is not significant

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر محتوای نسبی آب برگ- محتوای آنزیمی و غیر آنزیمی، پروتئین محلول و کربوهیدرات برگ در گیاه ماشک

Table 3- Combined (2-year data) analysis of variance goes to effect of different tillage treatments on Relative water content, enzymatic and non-enzymatic activity and leaf Protein and carbohydrates in *Pannonica vetch*

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	RWC	CAT	SOD	POD	MDA	H_2O_2	پرولین Proline	پروتئن محلول Leaf soluble protein	کربوهیدرات محلول Soluble carbohydrates
سال Year	1	5.8ns	0.00012**	0.016**	0.157**	5098.21**	0.153**	0.073**	0.047**	0.028**
بلوک (سال) Block (year) (Y)	4	0.344	0.000004	0.0003	0.001	17.46	0.001	0.001	0.00007	0.00004
خاک‌ورزی Tillage (T)	2	224.39**	0.00043**	0.054**	0.278**	8080.56**	0.528**	0.79**	0.096**	0.05**
سال × خاک‌ورزی Y × T	2	0.062ns	0.0000003ns	0.000019ns	0.002ns	43.05ns	0.003ns	0.003ns	0.0007ns	0.0009ns
خطا Error	8	1.64	0.000009	0.0012	0.009	1040.25	0.005	0.001	0.0006	0.0003
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		2	4.81	5.05	7.75	4.15	5.8	3.97	3.42	5.87

RWC: محتوای نسبی آب برگ، CAT: کاتالاز، SOD: سوپر اکسید دیسموتاز، POD: پروکسیداز، MDA: مالون د آلدئید، H_2O_2: پراکسید هیدروژن

ns، * و **: به‌ترتیب نشانه عدم معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد

RWC: Relative water content, CAT: Catalase, SOD:superoxide dismutase, POD: peroxidase, MDA: Malondialdehyde, H_2O_2: Hydrogen peroxide

* and **, respectively, 5% and 1% level of significance, ns is not significant

جدول ٤- تجزیه واریانس مرکب اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر قارچ مایکوریزا، گره‌های ریزوبیوم، عناصربرگ و دانه گیاه ماشک

Table 4- Combined (2-year data) analysis of variance goes to effect of different tillage treatments on mycorrhiza fungi, rhizobia nodes, leaf and seeds elements of *Pannonica vetch*

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	نیتروژن برگ Leaf N	فسفر برگ Leaf P	نیتروژن دانه Grain N	پروتئین دانه Grain protein	کلونیزاسیون colonization	تعداد اسپور قارچ Number of Spores	گره‌های ریزوبیوم Number of rhizobium nodes
سال Year	1	0.68**	0.02**	1.25**	42.04**	3.55ns	76.05ns	2.72ns
بلوک (سال) Block (year) (Y)	4	0.008	0.0004	0.0007	0.03	1.88	59.55	3.05
خاک‌ورزی Tillage (T)	2	0.79**	0.022**	0.131**	0.4.0**	615.05**	26745.05**	154.38**
سال × خاک‌ورزی Y × T	2	0.0003ns	0.00008ns	0.0007ns	0.005ns	0.72ns	37.38ns	1.05ns
خطا Error	8	0.023	0.0002	0.0006	0.018	3.22	80.3	3.05
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		5.52	3.83	0.7	0.67	9.1	7.98	7.36

N: نیتروژن برگ، N: فسفر برگ، ns، * و **: به‌ترتیب نشانه عدم معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد

N: Nitrogen, N: phosphorus ; * and **, respectively, 5% and 1% level of significance, ns is not significant

جدول ٥- مقایسه میانگین دو ساله اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر صفات مرتبط با عملکرد و ارتفاع گیاه ماشک

Table 5- Comparison of the 2-year average of traits related to yield and Plant height of *Pannonica vetch*

		عملکرد علوفه تر Fresh forage yield (kg.ha^{-1})	عملکردعلوفه خشک Dry forage yield (kg.ha^{-1})	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biologic yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت HI
خاک‌ورزی Tillage	NT	6464.3a	2013.8a	53.6a	446.6a	2509.8a	17.7a
	RT	5482.3b	1738.6b	47.7b	287.5b	2080.8b	13.6b
	CT	4988c	1533.3c	44.8c	199.5c	1786.5c	11.1c
سال آزمایش Years	2018	6295.5a	1955a	55.5a	342.7a	2297.7a	14.5a
	2019	4994.2b	1568b	41.8b	279.6b	1553.6b	13.9a

NT: کشت مستقیم، RT: کم‌خاک‌ورزی، CT: کشت مرسوم، در هرستون اعدادی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

NT: No-tillage, RT: Reduce tillage, CT: Customer tillage; Mean values followed by same letters in each column are not statistically different based on Duncan's range test at P = 0.05

جدول ٦- مقایسه میانگین دو ساله اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر صفات فیزیولوژیک گیاه ماشک

Table 6- Comparison 2-year average of some physiological treatments of *pannonica vetch*

		CTD (ºC)	LAI (m^2)	SLA (m^2.g^{-1})	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g^{-1} FW)	کلروفیلb Chlorophyll b (mg.g^{-1} FW)	کلرفیل کل Total chlorophyll (mg.g^{-1} FW)	کاروتنوئید Carotenoids (mg.g^{-1} FW)	Fv/Fm (%)	Fv'/Fm' (%)
خاک‌ورزی Tillage	NT	3.06a	3.5a	0.0145a	1.92a	0.39a	2.33a	0.29a	78.48a	52a
	RT	1.83b	2.5b	0.0115b	1.54b	0.3b	1.86b	0.23b	75.63b	45.18b
	CT	1.26c	2b	0.0103b	1.26c	0.24c	1.5c	0.21c	72.86c	40.53c
سال آزمایش Years	2018	2.13a	3.01a	0.0126a	1.64a	0.33a	1.98a	0.25a	77.18a	46.62a
	2019	1.97a	2.39b	0.0115b	1.51b	0.29b	1.81b	0.24a	74.13b	45.18b

LAI: شاخص سطح برگ، SLA: سطح ویژه برگ، CTD: اختلاف دمای تاج‌پوشش، Fv/Fm; Fv'/Fm': کارآیی کوانتومی فتوسیستم ۲ در شب و روز، NT: کشت مستقیم، RT: کم‌خاک‌ورزی، CT: کشت مرسوم، در هرستون اعدادی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

CTD: Canopy temperature depression, LAI: leaf area index, SLA: Specific leaf area, Fv/Fm; Fv'/Fm': photosynthetic efficiency Night- Day; NT: No-tillage, RT: Reduce tillage, CT: Customer tillage; Mean values followed by same letters in each column are not statistically different based on Duncan's range test at P = 0.05

جدول ۷- مقایسه میانگین دو ساله اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر محتوای نسبی آب برگ- محتوای آنزیمی و غیر آنزیمی، پروتئین محلول و کربوهیدرات برگ در گیاه ماشک

Table 7- Comparison 2-year average of relative water content, enzymatic and non-enzymatic activity and leaf protein and carbohydrates in pannonica vetch

		RWC (%)	CAT (Units.mg^{-1} protein.min^{-1})	SOD (Units.mg^{-1} protein.min^{-1})	POD (Units.mg^{-1} protein.min^{-1})	MDA (nmol.g^{-1} FW)	H_2O_2 (mmol. g^{-1} FW)	پرولین Proline (µmol.g^{-1} FW)	پروتئین محلول Leaf soluble protein (mg.g^{-1} FW)	کربوهیدرات محلول Leaf soluble carbohydrates (mg.g^{-1} DW)
خاک‌ورزی Tillage	NT	70.78^{a}	0.056^{c}	0.58^{c}	1^{c}	205.32^{c}	0.96^{c}	0.6^{c}	0.91^{a}	0.4^{a}
	RT	62.67^{b}	0.066^{b}	0.7^{b}	1.3^{b}	254.74^{b}	1.32^{b}	0.81^{b}	0.72^{b}	0.29^{b}
	CT	58.8^{c}	0.073^{a}	0.77^{a}	1.43^{a}	277.02^{a}	1.55^{a}	1.31^{a}	0.66^{c}	0.22^{c}
سال آزمایش Years	2018	64.65^{a}	0.063^{b}	0.65^{b}	1.13^{b}	228.8^{b}	1.18^{b}	0.84^{b}	0.81^{a}	0.34^{a}
	2019	6.52^{b}	0.068^{a}	0.7^{a}	1.32^{a}	265.5^{a}	1.36^{a}	0.97^{a}	0.71^{b}	0.26^{b}

RWC: محتوای نسبی آب برگ، CAT: کاتالاز، SOD: سوپر اکسید دیسموتاز، POD: پروکسیداز، MDA: مالون د آلدئید، H_2O_2: پراکسید هیدروژن، NT: کشت مستقیم، RT: کم‌خاک‌ورزی، CT: کشت مرسوم، در هرستون اعدادی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

RWC: Relative water content, CAT: Catalase, SOD:superoxide dismutase, POD: peroxidase, MDA: Malondialdehyde, H_2O_2: Hydrogen peroxide; NT: No-tillage, RT: Reduce tillage, CT: Customer tillage; Mean values followed by same letters in each column are not statistically different based on Duncan's range test at P = 0.05

جدول ۸- مقایسه میانگین دو ساله اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر قارچ مایکوریزا، گره‌های ریزوبیوم، عناصر برگ و دانه گیاه ماشک

Table 8- Comparison 2-year average of mycorrhiza fungi, rhizobia nodes, leaf and seeds elements of pannonica vetch

		نیتروژن برگ Leaf N (%)	فسفر برگ Leaf P (%)	نیتروژن دانه Grain N (%)	پروتیین خام دانه Grain crude protein (%)	کلونیزاسیون Colonization (%)	تعداد اسپور قارچ Number of spores No, per 10g Soil	گره ریزوبیوم Number of rhizobium nodes No, per Plant
خاک‌ورزی Tillage	NT	3.16^{a}	0.49^{a}	3.72^{a}	21.23^{a}	30.16^{a}	179.83^{a}	12.16^{a}
	RT	2.64^{b}	0.41^{b}	3.51^{b}	19.98^{b}	18.5^{b}	110.66^{b}	4.33^{b}
	CT	2.47^{b}	0.37^{c}	3.44^{c}	19.69^{c}	10^{c}	46.33^{c}	2.66^{b}
سال آزمایش Years	2018	2.95^{a}	0.46^{a}	3.82^{a}	21.83^{a}	20^{a}	114.33^{a}	6.7^{a}
	2019	2.56^{b}	0.39^{b}	3.29^{b}	18.77^{b}	19.11^{a}	110.22^{a}	6^{a}

NT: کشت مستقیم، RT: کم‌خاک‌ورزی، CT: کشت مرسوم، در هرستون اعدادی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

NT: No-tillage, RT: Reduce tillage, CT: Customer tillage; Mean values followed by same letters in each column are not statistically different based on Duncan's range test at P = 0.05

جدول ۹- تجزیه واریانس یک ساله (سال آخر) اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر کیفیت علوفه گیاه ماشک

Table 9- Analysis of annual variance (last year) goes to effect of different tillage treatments on forage quality of pannonica vetch

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	CP	DMD	WSC	ADF	ASH	CF	NDF
بلوک Block	2	0.32*	0.34^{ns}	0.11^{ns}	0.058^{ns}	0.058^{ns}	5.21*	0.21^{ns}
خاک‌ورزی Tillage	2	6.13**	20.25**	3.11**	25.62**	2.98*	43.19**	46.99**
خطا Error	4	0.04	0.26	0.02	0.25	0.33	0.31	0.47
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		0.98	0.84	5.4	1.41	5.5	1.8	1.2

CP: پروتئین خالص، DMD: هضم‌پذیری علوفه، WSC: پروتئین محلول آب، ADF: نامحلول در شوینده اسیدی، Ash: میزان خاکستر، CF: فیبر خام الیاف، NDF: الیاف نامحلول در شوینده خنثی

ns، * و **: به‌ترتیب نشانه عدم معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد

CP: Crude protein, DMD: dry matter digestibility, WSC: water soluble carbonates, ADF: acid detergent fiber, CF: crude fiber, NDF: neutral detergent fiber, ASH: percentage of ash; * and **, respectively, 5% and 1% level of significance, ns is not significant

جدول ۱۰- مقایسه میانگین یک ساله (سال آخر) اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر کیفیت علوفه گیاه ماشک

Table 10- Comparison of annual average (last year) of the effect of different tillage treatments on forage quality of vetch

		CP	DMD	WSC	ADF	ASH	CF	NDF
		(%)						
خاک‌ورزی Tillage	NT	22.2[a]	64[a]	3.8[a]	32.2[c]	11.6[a]	26.7[c]	52.7[c]
	RT	20.2[b]	60.4[b]	2.3[b]	36[b]	10[b]	31[b]	57.7[b]
	CT	19.4[c]	59[c]	1.8[c]	38[a]	9.8[b]	34.3[a]	60.5[a]

CP: پروتئین خالص، DMD: هضم‌پذیری علوفه، WSC: پروتئین محلول آب، ADF: نامحلول در شوینده اسیدی، Ash: میزان خاکستر، CF: فیبر خام الیاف، NDF: الیاف نامحلول در شوینده خنثی

NT: کشت مستقیم، RT: کم‌خاک‌ورزی، CT: کشت مرسوم، در هرستون اعدادی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

CP: Crude protein, DMD: dry matter digestibility, WSC: water soluble carbonates, ADF: acid detergent fiber, CF: crude fiber, NDF: neutral detergent fiber, ASH: percentage of ash; NT: No-tillage, RT: Reduce tillage, CT: Customer tillage; Mean values followed by same letters in each column are not statistically different based on Duncan's range test at P = 0.05

با توجه به اختلاف شرایط آب و هوایی در سال‌های مورد آزمایش (شکل ۱) خصوصاً تعداد بالای روز یخبندان در اردیبهشت سال دوم (آوریل و می)، رشد گیاه و پارامترهای مورد اندازه‌گیری در سال اول نسبت به سال دوم، وضعیت بهتری داشتند. همچنین صفات کلونیزاسیون، اسپوریزاسیون قارچ مایکوریزا، تعداد گره‌های ریزوبیومی، محتوای نسبی آب برگ و شاخص برداشت در هر دو سال تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند، امّا بقیه صفات اندازه‌گیری شده تحت تأثیر سال قرار گرفتند (جداول ۱،۳،۴).

صفات عملکردی و ارتفاع گیاه

بیشترین عملکرد علوفه خشک، عملکرد علوفه تر و دانه از کشت مستقیم به‌دست آمدند و کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم در رده‌های بعدی قرار داشتند، کمترین علوفه خشک، عملکرد علوفه تر و دانه در کشت مرسوم حاصل شد (جدول ۵). در این مطالعه، عملکرد علوفه خشک در کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی به‌ترتیب ۲۴ و ۱۴ درصد نسبت به کشت مرسوم افزایش داشت. این افزایش برای عملکرد علوفه تر به‌ترتیب ۲۳ و ۱۵ درصد، و برای عملکرد دانه ۵۵ و ۳۶ درصد بود. عملکرد علوفه خشک، عملکرد علوفه تر و دانه در سال اول کاشت بیشتر از سال دوم بود (جدول ۵). همچنین، رابطه معنی‌داری (r=۰/۷۵*) بین میزان رطوبت نسبی برگ و علوفه خشک به‌دست آمد (شکل ۲- E). در همین رابطه پیگین و همکاران (Piggin et al., 2015) نیز بهبود عملکرد دانه را در کشت مستقیم نسبت به کشت مرسوم مشاهده کردند و اعلام کردند که گیاهان زراعی لگوم انطباق‌پذیری مناسبی را در کشت مستقیم دارند و بیشترین عملکرد را نسبت به کشت مرسوم از خود نشان دادند. محققان دیگر نیز اعلام کردند که استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی به‌جای خاک‌ورزی مرسوم می‌تواند باعث افزایش عملکرد محصول بین ۸ تا ۳۵ درصد و افزایش کارایی مصرف آب شود (Zhang et al., 2012) که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. پژوهشگران در مطالعات خود در ایران، ۲۴ تا ۵۷ درصد افزایش عملکرد گیاه نخود را در کشت مستقیم نسبت به کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم گزارش کردند و دلیل افزایش معنی‌دار عملکرد در کشت مستقیم همراه با بقایای گیاهی نسبت به مرسوم را ذخیره و دسترسی بیشتر گیاهان به آب را بیان نمودند (Hemmat & Eskandari, 2004; 2006)، امّا سایر محققان افزایش عملکرد گندم را در کشت کم‌خاک‌ورزی نسبت به کشت مرسوم اعلام کردند (Chaib et al 2020).

کمترین ارتفاع در کشت مرسوم به‌دست آمد که کاهش ارتفاع ۲/۹ و ۸/۸ سانتی‌متری را به‌ترتیب نسبت به کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم داشت (جدول ۵). در بررسی حاضر، گیاهان کاشته شده به روش کشت مستقیم به‌صورت معنی‌داری ارتفاع بیشتری نسبت به کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم داشتند. از دلایل ارتفاع کمتر در تیمار کشت مرسوم می‌توان به کمبود آب گیاه، کاهش کلروفیل (Mafakheri et al., 2010) و کارایی فتوسیستم ۲ نسبت به تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی اشاره کرد (جداول ۶ و ۷). همچنین، تغییرات ارتفاع گیاه در دو سال مورد آزمایش (جدول ۵) می تواند به‌دلیل تفاوت شرایط آب و هوایی و وجود تعداد بیشتر روزهای یخبندان و درجه حرارت پایین در فصل بهار سال دوم باشد (شکل ۱). محققان دیگر نیز در آزمایش‌های خود، افزایش ارتفاع گیاهان کاشته شده در کشت مستقیم را نسبت به مرسوم مشاهده کردند (Borstlap & Entz., 1994). علاوه‌بر موارد مذکور، وجود قارچ مایکوریزا (جدول

۸) می‌تواند به‌واسطه افزایش جذب فسفر و عناصر غذایی از دلایل بیشتر بودن ارتفاع گیاه در تیمار بدون خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی باشد. در این رابطه، سایر پژوهشگران نیز به نقش قارچ‌های مایکوریزا در تغذیه و رشد بهتر گیاهان اشاره کرده‌اند (Auge 2001; Auge et al., 2015) که با نتایج به‌دست آمده در این مطالعه هم‌خوانی دارد.

همزیستی قارچی و باکتریایی ریشه

بر اساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۸)، گیاه ماشک در کشت مستقیم دارای بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه، تعداد اسپور قارچ در ریزوسفر و تعداد گره‌های ریزوبیومی بر روی ریشه بود که اختلاف آماری معنی‌داری نیز با دو تیمار دیگر داشت، به‌طوری‌که این افزایش در کلونیزاسیون ۳۸/۶۶ و ۶۶/۸۴ درصد، اسپور قارچ ۳۸/۴۶ و ۷۳/۱۲ درصد و گره‌های ریزوبیوم ۶۴/۳۹ و ۷۸/۱۳ درصد به‌ترتیب در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم بود. به نظر می‌رسد که همزیستی مایکوریزایی و باکتریایی ریشه ماشک در هر دو سال آزمایش (جدول ۸) صرف نظر از شرایط آب و هوایی (شکل ۱) و با توجه به نیازهای آن‌ها بوده است. یکی از مهم‌ترین عوامل در جهت کمک به رشد گیاهان خانواده لگومینوز، همزیستی مثبت آن‌ها با انواع قارچ‌ها و باکتری‌های خاک می‌باشد (Torabian et al., 2019). در این تحقیق، کشت‌های مستقیم و کم‌خاک‌ورزی احتمالاً به‌دلیل عدم به هم خوردگی خاک درنتیجه عدم از دست رفتن ساختار میسیلوم-های قارچ مایکوریزا همچنین رشد مناسب همراه با تثبیت بهتر باکتری‌های ریزوبیوم موجب افزایش درصد همزیستی نیز گردید که باعث کمک به جذب بهتر آب و عناصر غذایی در گیاه ماشک شده است، امّا در خاک‌ورزی مرسوم به‌دلیل به هم خوردگی خاک و قرار گرفتن ریزجانداران در معرض نور خورشید گیاه توانایی استفاده کمتری از این همزیستی را داشته است (جدول ۸). در همین رابطه، روسنر و همکاران (Rosner et al., 2019) افزایش میزان کلونیزاسیون قارچ‌های مایکوریزا با ریشه گیاه نخود را در کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی نسبت به کاشت مرسوم اعلام کردند. تأثیرات مثبت عدم خاک‌ورزی خاک بر جمعیت ریزجانداران خاک خصوصاً قارچ‌های مایکوریزا و باکتری‌های ریزوبیوم اعلام شده است (Torabian et al., 2019). قارچ‌های مایکوریزا با گسترش میسیلوم-های خود در جهت افزایش جذب آب و عناصر معدنی برای گیاه باعث بهبود وضعیت رشد گیاه شده، همچنین باعث افزایش جذب عناصر غذایی بیشتر از سطح بیشتری در اطراف ریشه می‌شوند (Auge et al., 2015; Auge, 2001). از مهم‌ترین عناصری که توسط میکوریزا به‌طور فعال در سطح وسیع جذب می‌شود، عنصر فسفر است (Baum et al., 2015). در این مطالعه نیز همبستگی معنی‌داری بین کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا با میزان فسفر برگ، فعالیت پراکسید هیدروژن و محتوای نسبی آب برگ (شکل ۲- B, G, H) مشاهده شد. در این آزمایش، با توجه به رشد بهتر قارچ مایکوریزا در کشت مستقیم و کم‌خاکورزی، شرایط مناسب تولید اسپور قارچ نیز که روش تولید مثل آن می‌باشد، در وضعیت مطلوب‌تری نسبت به کشت مرسوم قرار گرفته است. با توجه به نتایج (شکل ۲- F,I)، همبستگی بین تعداد گره‌های ریزوبیومی با میزان نیتروژن برگ (r=۰/۷۷*) و پروتئین محلول برگ (r=۰/۸۸**) به‌دست آمد. در همین راستا، ترابیان و همکاران (Torabian et al., 2019) اعلام کردند که همزیستی باکتری‌های ریزوبیوم در جهت تثبت نیتروژن اتمسفر محیط و کمک به رشد گیاه نخود نقش بسیار مهمی دارد. ریتر و همکاران (Reiter et al., 2002) نیز اعلام کردند که کاهش خاک‌ورزی احتمالاً باعث افزایش تثبیت نیتروژن هوا در مقایسه با کشت مرسوم می‌شود. با توجه به افزایش معنی‌دار تعداد گره‌های ریزوبیومی در کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی نسبت به کشت مرسوم (جدول ۸)، این نتایج با تحقیقات دوگان و همکاران (Dogan et al., 2012) مبنی بر تأثیرات منفی کاشت مرسوم بر تعداد گره‌های ریزوبیومی در گیاه نخود نسبت به انواع خاک‌ورزی حفاظتی، افزایش تعداد گره‌های ریزوبیومی بر روی ریشه گیاهان بر اثر کشت بدون خاک‌ورزی (Lopez-Bellido et al., 2011, a,b) و گزارش‌های ترابیان و همکاران (Torabian et al., 2019) در رابطه با اینکه خاک‌ورزی حفاظتی به صورت ویژه گره‌زایی و تثبیت نیتروژن را با توجه به افزایش رطوبت و بهبود می‌بخشد، هم‌خوانی دارد.

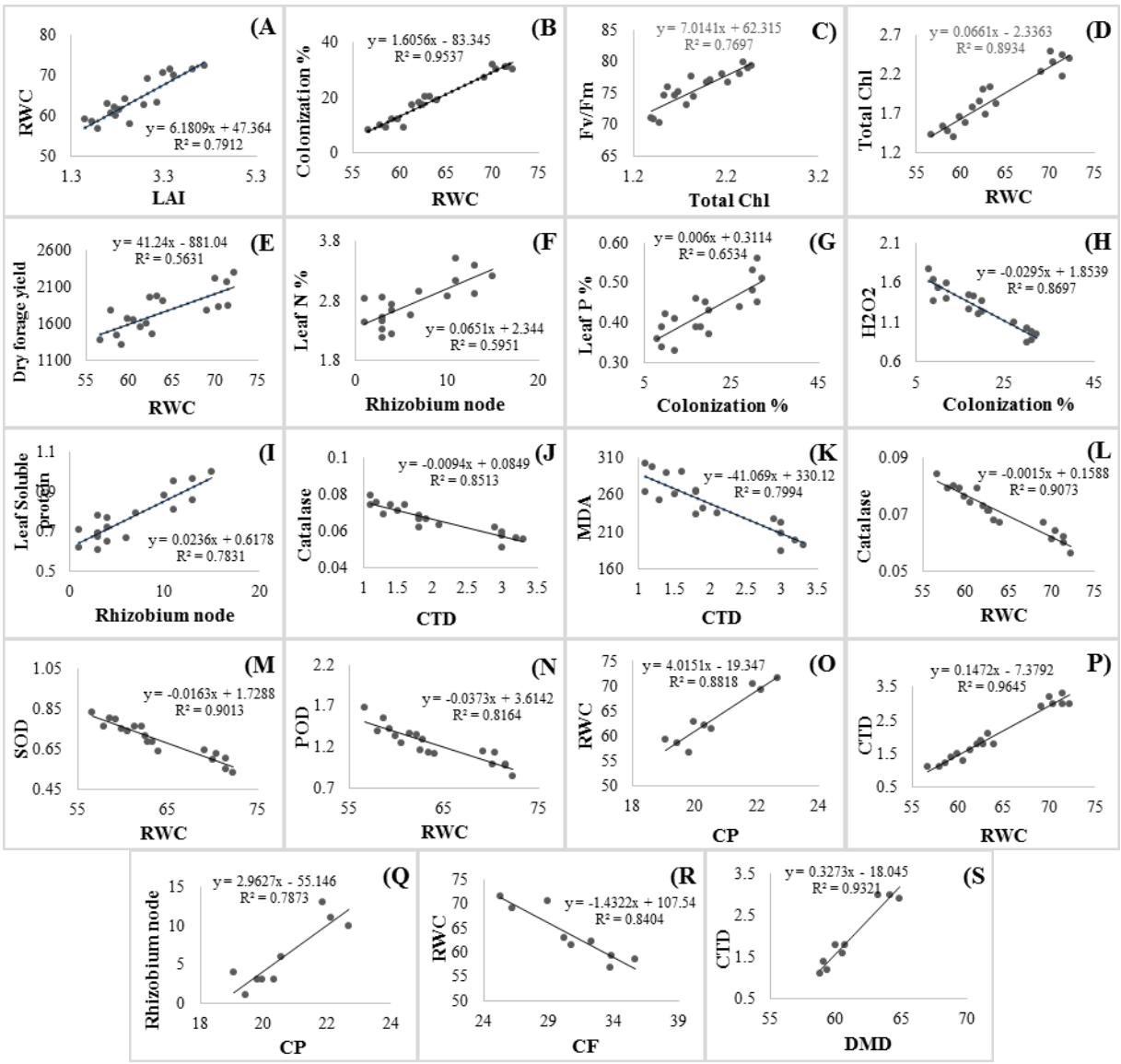
محتوای نسبی آب برگ (RWC) و اختلاف دمای تاج‌پوشش با محیط (CTD)

بر اساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۷)، بیشترین محتوای نسبی آب برگ گیاه ماشک در تیمار کشت مستقیم و کمترین به‌ترتیب در کم‌خاک‌ورزی و مرسوم مشاهده شد. یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌هایی که در خصوص ارزیابی فعالیت مناسب گیاهان می‌توان انجام داد، بررسی محتوای آب برگ (RWC) می‌باشد (Kaushal & Wani, 2016).

در این آزمایش با توجه بیشتر بودن درصد همزیستی قارچ مایکوریزا و باکتری ریزوبیوم (جدول ۸) در ریشه ماشک‌های کشت شده به‌روش کشت مستقیم و در نتیجه آن، جذب بیشتر رطوبت از خاک، بنابراین محتوای نسبی آب برگ بالاتری نیز نسبت به دو تیمار دیگر داشتند (جدول ۷). در همین رابطه، محققان دیگری نیز در خصوص نقش مؤثر همزیستی قارچ مایکوریزا و باکتری‌های *ریزوبیوم* در افزایش جذب رطوبت خاک به گیاه (Baum et Mirzakhani et al., 2010 ; al., 2015; Habibzadeh et al., 2015) و افزایش آب گیاه به‌دلیل هیف‌های ایجاد شده در محیط اطراف ریشه اشاره داشته‌اند (Rahimzadeh & Pirzad, 2017). با توجه به عدم خاک‌ورزی در کشت مستقیم و احتمال نفوذ بیشتر ریشه به‌واسطه بالا بودن همزیستی با قارچ مایکوریزا (جدول ۸) همچنین بقایای گیاهی سال قبل در سطح خاک بنابراین رطوبت بیشتری جذب گیاه شده، بنابراین گیاه دارای آب برگ بیشتری بوده است. افزایش رطوبت خاک و وجود آب بیشتر در گیاهان بر اثر عدم خاک‌ورزی و کشت مستقیم توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Sapkota et al., 2014; Safari et al., 2014; Lampurlanes et al., 2016). درصد بالای همزیستی قارچ‌های مایکوریزا در کم‌خاک‌ورزی و بدون شخم نسبت به کشت مرسوم احتمالاً از دلایل افزایش جذب آب بیشتر و RWC بالاتر بوده است (جدول ۸) که با نتایج سایر پژوهشگران هم‌خوانی دارد (Auge, 2001). با توجه به نتایج به‌دست آمده (جدول ۶)، کمترین اختلاف دمای تاج‌پوشش با محیط در تیمار کشت مرسوم (۱/۲۶°C) و بیشترین اختلاف نسبت به آن به‌ترتیب در کم‌خاک‌ورزی (۱/۸۳°C) و کشت مستقیم (۳/۰۶ °C) بود. در آزمایش حاضر مشخص شد که دمای تاج‌پوشش رابطه مستقیمی با خاک‌ورزی دارد و با به هم خوردگی کمتر خاک، اختلاف دمای محیط با گیاه بیشتر بوده است (جدول ۶) که احتمالاً به‌دلیل رطوبت بیشتر خاک در کشت مستقیم و RWC بالاتر در نتیجه تبادلات گازی بهتر بوده است، بنابراین اختلاف دما (CTD) با محیط نیز بیشتر است. محققان دیگری هم در گزارش‌های خود افزایش آب خاک را در عدم خاک‌ورزی (Hemmat ; Zhang et al., 2012& Eskandari, 2006) و دمای پایین‌تر تاج‌پوشش در اثر رطوبت بیشتر خاک اشاره کرده‌اند (Hatfield et al., 1987 ;Blum et al., 1988). در این آزمایش نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری (r=۰/۹۸**) بین دمای تاج‌پوشش و میزان محتوای نسبی آب برگ مشاهده شد (شکل ۲- P). روحی و همکاران (Roohi et al., 2015) در بررسی‌های خود اختلاف معنی‌دار دمای تاج‌پوشش بر اثر تنش خشکی و ارتباط آن با رطوبت خاک را در زمان پرشدن دانه گندم، جو و تریتیکاله آبی گزارش کردند. محققان در مطالعات خود (Balota et al., 1993)، رابطه مثبت و معنی‌داری بین میزان عملکرد و اختلاف دمای تاج‌پوشش با محیط را در یک تا سه هفته بعد از گل‌دهی اعلام کردند که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. ارتباط محتوای نسبی آب برگ با تبادلات روزنه‌ای و ریشه گیاهان در مطالعات دیگری نیز بررسی شده است (Fang Gupta et al., 2001 ; & Xiong, 2015).

شاخص سطح برگ (LAI) و سطح ویژه برگ (SLA)

با توجه به نتایج به‌دست آمده (جدول ۶)، تیمار کشت مستقیم باعث افزایش شاخص سطح برگ نسبت به تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم شد. بر این اساس، SLA نیز تحت تأثیر تیمارهای خاک ورزی قرار گرفت، به‌طوری‌که گیاهان تحت شرایط کشت مرسوم و کم‌خاک‌ورزی در یک دسته آماری قرار گرفته و به‌صورت معنی‌داری نسبت به کشت مستقیم کمتر بودند. یکی از شاخص‌های مهم جهت تعیین وضعیت رشدی مناسب گیاه در شرایط مختلف، اندازه‌گیری شاخص سطح برگ (LAI) می‌باشد (Qiu et al., 2017). با توجه به این که انجام خاک‌ورزی حفاظتی به‌واسطه بقایای گیاهی و ماده آلی خاک در زمین باعث ذخیره بیشتر آب در خاک و نهایتاً ساختار گیاه شده است (جدول ۷)، بنابراین گیاه ماشک توانایی گسترش اندام‌های بیشتری را داشته که در نتیجه افزایش میزان سطح برگ خود بوده است. در همین راستا، همبستگی معنی‌داری (r=۰/۸۸**) نیز در روند خاک‌ورزی بین سطح برگ و میزان RWC وجود دارد (شکل ۲-A). افزایش شاخص سطح برگ در گیاهان کشت شده به‌روش کم‌خاک-ورزی توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Wasaya et al., 2017). به‌دلیل کمبود رطوبت گیاه (جدول ۷) در اثر کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم نسبت به کشت مستقیم، احتمالاً گیاه دچار تنش شده و به‌واسطه مقابله با آن و حفظ رطوبت، سطح خود را کاهش داده و باعث افزایش ضخامت برگ یا SLA نیز شده است. در این آزمایش، گیاهان کشت شده به‌روش مستقیم، SLA کمتری داشتند (جدول ۶). کاهش سطح برگ بر اثر تنش رطوبتی در گیاه لوبیا نیز گزارش شده است (Emam et al., 2010).



شکل ۲– همبستگی صفات فیزیولوژیک و کیفیت علوفه گیاه ماشک

Fig. 2- Correlation of physiological traits and forage quality of vetch

A: شاخص سطح برگ و میزان آب نسبی برگ **B:** میزان آب نسبی برگ و درصد کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا با ریشه**C:** میزان آب نسبی برگ و کارایی کوانتومی **D:** میزان آب نسبی برگ و کلروفیل کل **E:** میزان آب نسبی برگ و عملکرد علوفه خشک **F:** تعداد گره‌های ریزوبیومی و درصد نیتروژن برگ **G:** درصد کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا با ریشه و درصد فسفر برگ **H:** درصد کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا با ریشه و پراکسید هیدروژن **I:** تعداد گره‌های ریزوبیومی وپروتین محلول برگ **J:** اختلاف دمای محیط با تاج‌پوشش و آنزیم کاتالاز **K:** اختلاف دمای محیط با تاج‌پوشش و مالون د آلدئید **L:** میزان آب نسبی برگ و آنزیم کاتالاز **M:** میزان آب نسبی برگ و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز **N:** میزان آب نسبی برگ و آنزیم پروکسیداز **O:** پروتین خام اندمهایی هوایی با میزان آب نسبی برگ **P:** میزان آب نسبی برگ و اختلاف دمای محیط با کانوبی **Q:** پروتین خام اندمهایی هوایی با تعداد گره‌های ریزوبیومی **R:** فیبر خام اندمهایی هوایی با میزان آب نسبی برگ **S:** ماده خشک قابل هضم با اختلاف دمای محیط و تاج‌پوشش

A: Relative water content and Leaf area index; B: Relative water content and Colonization of mycorrhiza fungus; C: Relative water content and Quantum efficiency of photosystem II; D: Relative water content and Total chlorophyll; E: Relative water content and Dry forage yield; F: Number of rhizobium nodes and Leaf nitrogen; G: Colonization of mycorrhiza fungus and Leaf phosphorus; H: Colonization of mycorrhiza fungus and Hydrogen peroxide; I: Number of rhizobium nodes and Leaf soluble protein; J: Canopy temperature depression and Catalase; K: Canopy temperature depression and Malondialdehyde; L: Relative water content and Catalase; M: Relative water content and Superoxide dismutase; N: Relative water content and Peroxidase; O: Crude protein and Relative water content; p: Relative water content and Canopy temperature depression; Q: Crude protein and Number of rhizobium nodes; R: Crude fiber and Relative water content S: Dry matter digestibility and Canopy temperature depression.

محتوای کلروفیل و کاروتنوئید

کمترین میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل از گیاهان کشت شده به‌روش مرسوم به‌دست آمد و کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم به ترتیب دارای بیشترین مقادیر بودند (جدول ۶). بیشترین مقدار کاروتنوئید برگ در تیمار کشت مستقیم و کمترین به‌ترتیب در کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم بود (جدول ۶). در بررسی حاضر، گیاهان کشت شده در روش کشت مستقیم احتمالاً به‌دلیل بیشتر بودن رطوبت، درصد نیتروژن و فسفر برگ (جداول ۹ و ۱۰)، دارای میزان کلروفیل a و b بالاتری نیز بوده‌اند. در همین رابطه فیورینتینی و همکاران (Fiorentini et al., 2019) در آزمایشات خود افزایش میزان کلروفیل را در کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی نسبت به کشت مرسوم گزارش کردند. همچنین مونیائو و همکاران (Muniao et al., 2019) نیز در آزمایشات خود بر روی گیاه لوبیا نشان دادند که میزان غلظت کلروفیل در خاک‌ورزی مرسوم نسبت به کشت مستقیم کاهش می‌یابد که یافته‌های فوق با نتایج این تحقیق همسو می‌باشد. غلظت رنگدانه‌ها ارتباط قوی با ظرفیت فتوسنتزی دارد و شاخص مهمی از وضعیت رشد و شرایط فتوسنتزی گیاه است، بنابراین محتوای کلروفیل می‌تواند نشان‌دهنده آسیب احتمالی در اثر تنش رطوبتی و شاخص مناسبی برای تعیین میزان فتوسنتز باشد (Cenzano et al., Nageswara et al., 20012013;). در این آزمایش، با توجه به وجود میزان آب کمتر گیاهان (جدول ۷) در خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی نسبت به کشت مستقیم، احتمالاً گیاه دچار تنش بوده که با تحقیقات مفاخری و همکاران (Mafakheri et al., 2010, 2011) مبنی بر کاهش میزان کلروفیل گیاه نخود در اثر تنش رطوبتی هم‌خوانی دارد. در همین راستا، با توجه به نتایج به‌دست آمده، همبستگی معنی‌داری (r=۰/۹۴**) بین کلروفیل کل و میزان آب نسبی برگ (RWC) مشاهده شد (شکل ۲- D). کاروتنوئیدها رنگدانه‌های فتوسنتزی کلیدی هستند که به‌عنوان اجزای اصلی آنتن‌های برداشت نور در واکنش‌های فتوسنتزی فعالیت دارند (Zakar et al., 2016). در تحقیق حاضر، احتمالاً گیاهان کشت شده به‌روش مرسوم و کم‌خاک‌ورزی به‌دلیل کمتر بودن عناصر (جدول ۸) و آب برگ (جدول ۷) و همچنین پایین بودن کارآیی فتوسیستم ۲ (جدول ۶) نسبت به کشت مستقیم، تحت تنش بوده و با افزایش گونه‌های فعال اکسیژن (جدول ۷) فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه تحت تأثیر قرار گرفته و میزان کلرفیل و کاروتنوئیدها هم کاهش یافته است. وانگ و همکاران (Wang et al., 2010) نیز اعلام کردند که در شرایط تنش مقدار کاروتنوئیدها کاهش یافته و نمی‌توانند نقش حفاظتی خود را انجام دهند و کاهش محتوای کاروتنوئید را به‌دلیل وجود اکسیژن فعال و تخریب ساختار آن‌ها اعلام کردند.

حداکثر کارایی کوآنتومی فتوسیستم ۲ (کلروفیل فلورسانس) در شب و روز

با توجه به نتایج به‌دست آمده، کمترین میزان کارآیی کوانتومی به ترتیب در شب و روز (تاریکی و روشنایی) مربوط به تیمار کشت مرسوم بود و بیشترین مقدار به‌ترتیب در کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم به‌دست آمد (جدول ۶). از مهم‌ترین شاخص‌های اندازه‌گیری سلامت چرخه فتوسنتزی، بررسی کارآیی کوانتومی فتوسیستم ۲ (کلروفیل فلورسانس) می‌باشد که بدون هیچ گونه تخریبی قابل اندازه‌گیری است. در آزمایش حاضر با توجه به شرایط دیم، کاهش کلروفیل (جدول ۶) و آب (جدول ۷) در گیاهان کاشت شده به‌روش مرسوم و کم‌خاک‌ورزی نسبت به کشت مستقیم، کارآیی کوانتومی نیز کاهش یافته است که در این مطالعه همبستگی معنی‌داری (r=۰/۸۷**) بین حداکثر کارآیی کوانتومی فتوسیستم ۲ در شب و کلروفیل کل مشاهده شد (شکل ۲- C). بنابراین، میزان کلروفیل فلورسانس در شرایط تاریکی و نور به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر انواع خاک‌ورزی قرار گرفته است (جدول ۶). در همین راستا، کاوشال و وانی (Kaushal & Wani., 2016) اعلام کردند که کاهش در میزان کلروفیل فلورسانس (عملکرد کوانتومی، Fv/Fm) نشان‌دهنده افزایش خسارت در برگ می‌باشد. محققان دیگر نیز اعلام کردند که نسبت کلروفیل فلورسانس تحت تأثیر تنش رطوبتی کاهش می‌یابد (Khan et al., 2019)، همچنین گزارش شده است که رابطه معنی‌داری بین تنش خشکی و میزان کلروفیل فلورسانس در زمان پرشدن دانه گندم، جو و تریتیکاله آبی (Roohi et al., 2015) وجود دارد که یافته‌های فوق با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد.

محتوای آنزیمی و غیر آنزیمی وابسته به تنش اکسیداتیو

اکسیدان و آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۷)، بیشترین میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز (CAT[1])، سوپر اکسید دیسموتاز

1- Catalase

(SOD[1]) و پراکسیداز (POD[2]) در گیاهان کشت شده در تیمار خاک ورزی مرسوم بود، کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم در رده بعدی قرار داشتند. کشت مرسوم باعث افزایش ۲۳/۲ درصد (CAT)، ۲۴/۶ درصد (SOD) و ۳۰/۶ درصد (POD) نسبت به کشت مستقیم و ۹/۵ درصد (CAT)، نه درصد (SOD) و ۱۳/۹ درصد (POD) نسبت به کم‌خاک‌ورزی شد. همچنین گیاهان کشت شده به‌روش مرسوم بیشترین میزان پرواکسید هیدروژن (H_2O_2) را داشتند که در مقایسه با آن به‌ترتیب کم‌خاک‌ورزی ۱۴ درصد و کشت مستقیم ۳۰ درصد کمتر بودند. گیاهان برای مقابله با تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی، سازوکارهای خاصی را دارند و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن در اثر بروز تنش اکسیداتیو در گیاهان اتفاق می‌افتد (Reddy et al., 2004). در گیاهان کشت شده به‌روش کشت مرسوم، احتمالاً به‌دلیل اختلاف پایین دمای تاج‌پوشش با محیط، تنش رطوبتی، کمبود عناصر نیتروژن، فسفر و کلروفیل برگ، میزان پراکسید هیدروژن (H_2O_2) افزایش پیدا کرده و گیاه نیز به‌جهت خنثی‌سازی آن‌ها آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی خود شامل سوپراکسید دیسموتاز، پرواکسیداز و کاتالاز را افزایش داده است (جداول ۶، ۷ و ۸). در آزمایش حاضر نیز با توجه به شرایط دیم، تیمار خاک‌ورزی بر روی گونه‌های فعال اکسیژنی مؤثر بوده و به همین منظور، رابطه مستقیمی بین محتوای نسبی آب برگ و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (شکل ۲- L, M, N) مشاهده شد که این رابطه (r=۰/۹۲**) بین دمای تاج‌پوشش و کاتالاز هم به‌دست آمد (شکل ۲- J). محققان دیگری نیز افزایش پراکسید هیدروژن و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در تنش خشکی اعلام کرده‌اند (Dat et al., 2000). احتمالاً به‌دلیل به هم خوردگی کمتر خاک در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی در نتیجه رطوبت بیشتر خاک، گیاه با جذب بیشتر، میزان آب بالاتری نسبت به کشت مرسوم داشته، بنابراین کمتر در معرض تنش خشکی و گونه‌های فعال اکسیژنی قرار گرفته، بنابراین تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نیز کمتر بوده است. نتایج این تحقیق با سایر محققان (Mafakheri et al., 2011; Khan et al., 2018; Wang et al., 2019) که اعلام کردند، میزان آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز تحت تنش رطوبتی در گیاهان افزایش می‌یابد، هم راستا می‌باشد.

1- Superoxide dismutase
2- Peroxidase

مالون د آلدئید، پراکسید هیدروژن و پرولین

در این مطالعه، گیاهان کشت شده به‌روش مرسوم، بیشترین میزان مالون دآلدئید (MDA) و پرولین را داشتند که میزان MDA به ترتیب در کم‌خاک‌ورزی هشت درصد و کشت مستقیم ۲۵/۸ درصد کمتر از کشت مرسوم بود، این کاهش نیز برای پرولین ۳۸/۱ درصد و ۵۴/۲ درصد در مقایسه با کشت مرسوم بود (جدول ۷). با توجه به این که در این آزمایش، گیاهانی که در کشت مرسوم بودند، به‌دلیل اختلاف کم دمای تاج‌پوشش با محیط (جدول ۶) و آب کمتر در برگ‌های خود (جدول ۷) در معرض تنش کم‌آبی و دمایی قرار داشتند، این امر موجب آسیب به غشای سلولی و افزایش میزان مالون د آلدئید شده است، امّا در کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی میزان کمتری از MDA مشاهده شد (جدول ۷). در همین رابطه، همبستگی معنی‌داری (r=۰/۸۹**) بین محتوای MDA و اختلاف دمای تاج‌پوشش با محیط (CTD) مشاهده شد (شکل ۲- K). در راستای نتایج این تحقیق، سایر محققان نیز اعلام کردند که میزان MDA در مرحله پر شدن دانه تا رسیدگی به‌دلیل تنش رطوبتی رو به افزایش (Wang et al., 2017) و کشت مستقیم باعث کاهش میزان MDA می‌شود (Huang et al., 2012). پرولین یکی از رایج‌ترین اسمولیت‌های سازگار در گیاهان است که عمدتاً متابولیسم آن در پاسخ به تنش رطوبتی مورد مطالعه قرار می‌گیرد (Verbruggen & Hermans, 2008). در این مطالعه، با توجه به اینکه کاهش خاک‌ورزی باعث بهبود وضعیت آبی گیاه شده است، بنابراین اسید آمینه پرولین کمتری نیز در تیمار کشت مستقیم مشاهده شد (جدول ۷). گیاهان در کشت مرسوم به‌دلیل پایین بودن اختلاف دمای تاج‌پوشش با محیط (جدول ۷) همچنین میزان کمتر فعالیت قارچ‌های مایکوریزا (جدول ۸)، پرولین بیشتری داشته‌اند که عکس‌العمل گیاه در مقابل تنش آبی و دمایی در راستای تنظیم فشار اسمزی بوده است. شینده و سینگ (Shinde & Singh, 2017) نیز افزایش پرولین را در اثر کم‌آبی گزارش کرده‌اند. سایر محققان نیز نتایج مشابهی در رابطه با تنش کم‌آبی و میزان پرولین گزارش کرده‌اند (Wilkinson & Davies, 2002; Reddy et al., 2004).

پروتئین (برگ و دانه) و کربوهیدرات‌های محلول در برگ

کمترین میزان پروتئین و کربوهیدرات محلول برگ در تیمار

کشت مرسوم به‌دست آمد و مقادیر آن‌ها به‌ترتیب در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم بیشتر بود (جدول ۷). به‌دلیل اهمیت فتوسنتز و فرآورده‌های آن و به‌جهت ارزیابی اثرات و تنش‌های زنده و غیر زنده، میزان پروتئین‌های محلول و کربوهیدرات‌های برگ اندازه گیری می‌شود. بر همین اساس تغییرات پروتئین‌های محلول و کربوهیدرات‌های برگ گیاه ماشک در بین کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم نیز به‌صورت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۷). میزان کربوهیدرات‌های محلول در برگ می‌تواند نتیجه تجزیه نشاسته در اثر تنش و یا عملکرد بهتر فتوسنتزی گیاه باشد. در کاشت مستقیم با توجه به بالا بودن سطح کلروفیل، عملکرد کوانتومی بالاتر و میزان رطوبت بیشتر گیاه و همچنین درصد همزیستی بیشتر با قارچ مایکوریزا (جداول ۶، ۷ و ۸)، گیاه توانسته است به‌واسطه فتوسنتز بیشتر، تولید قندهای بیشتری داشته باشد، درحالی‌که شرایط مذکور در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم کمتر بوده، در نتیجه موجب کاهش میزان قندها شده است. این نتایج با یافته‌های محققان دیگر (Auge, 2001; Subramanian & Auge et al., 1987 ; Charest, 1999) در این رابطه هم‌خوانی دارد. در تیمار کشت مرسوم با توجه به پایین بودن میزان نیتروژن برگ، کلروفیل و کلروفیل فلورسانس (جداول ۶ و ۸) به نظر می‌رسد که گیاه فتوسنتز کمتری داشته، در نتیجه میزان پروتئین محلول برگ هم نسبت به کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی کمتر بوده است. هیوانگ و همکاران (Huang et al., 2012) نیز در آزمایشات خود افزایش میزان پروتئین‌های محلول برگ را در مزارع کشت مستقیم برنج نسبت به کاشت مرسوم مشاهده کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. محققان دیگری نیز گزارش‌هایی درخصوص کاهش میزان پروتئین محلول برگ به‌واسطه کمبود آب و فتوسنتز ارائه کرده‌اند (Mafakheri et al., 2011; Shinde & Singh, 2017).

میزان فسفر و نیتروژن برگ، نیتروژن و پروتئین خام دانه

بیشترین میزان نیتروژن برگ (۳/۱۶ درصد)، فسفر برگ (۰/۴۹ درصد)، و نیتروژن دانه (۳/۷۲ درصد) در تیمار کشت مستقیم به‌دست آمد و مقادیر آن‌ها به‌ترتیب در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم کمتر بود. در این مطالعه، مقادیر نیتروژن دانه و فسفر برگ در کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی نسبت به کشت مرسوم به‌صورت معنی‌داری افزایش داشت، امّا تغییرات مقادیر نیتروژن برگ در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و مرسوم معنی‌دار نبودند (جدول ۸). در همین رابطه، سایر پژوهشگران افزایش نیتروژن دانه را در گیاه نخود با توجه به کشت آن در انواع خاک‌ورزی حفاظتی گزارش کردند (Neumann et al., 2007). بیشترین میزان پروتئین خام دانه گیاه ماشک به صورت قابل توجهی در کشت مستقیم (۲۱/۲۳ درصد) و به‌ترتیب کمترین نسبت به آن در کم‌خاک‌ورزی (۱۹/۹۸ درصد) و کشت مرسوم (۱۹/۶۹ درصد) بودند (جدول ۸). با توجه به اینکه در این آزمایش کلونیزاسیون قارچ میکوریزا و RWC گیاهان در تیمار کشت مستقیم بهتر از سایر تیمارها بود (جداول ۷،۸)، احتمالاً جذب عناصر به خصوص فسفر نیز از خاک به‌واسطه همزیستی بیشتر ریشه با قارچ مایکوریزا بیشتر بوده است (شکل ۲- G). جذب بیشتر فسفر از خاک به‌واسطه قارچ‌های مایکوریزا در اثر کشت مستقیم و افزایش معنی‌دار آن در گیاه نخود نسبت به کشت مرسوم توسط سایر پژوهشگران اعلام شده است (Rosner et al., 2020). همچنین گزارش شده است که افزایش سرعت جذب فسفر توسط گیاه میزبان به‌دلیل حضور انشعابات فراوان هیف‌های مایکوریزا در داخل سلول‌های پوست ریشه گیاه است که سطح وسیعی را برای انتقال عناصر غذایی به‌خصوص فسفر به گیاه میزبان و دانه فراهم می‌نماید (Rahimzadeh & Pirzad, 2017). نتایج این آزمایش مبنی بر مقدار فسفر کمتر در برگ گیاهان کشت شده به‌روش کم‌خاک‌ورزی و مرسوم نسبت به کشت مستقیم با گزارش محققان دیگر (Liu et al., 2016; Eke et al., 2007, 2000) مبنی بر این که قارچ مایکوریزا در جذب و دسترسی به عناصر غذایی مخصوصاً عناصر غیر متحرک مانند فسفر نقش بسزایی دارد، هم‌خوانی دارد. در دیگر تحقیقات نیز افزایش میزان فسفر برگ گیاه برنج در اراضی کشت مستقیم گزارش شده است (Huang et al., 2012) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. در این مطالعه، گیاه ماشک با بهره‌گیری از قارچ‌های مایکوریزا و تثبیت بهتر نیتروژن به‌واسطه تعداد بیشتر گره‌های ریزوبیومی بر روی ریشه و همچنین RWC بالاتر (جداول ۷و۸) در تیمار کاشت مستقیم نسبت به کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم توانسته است، نیتروژن بیشتری به برگ و از آنجا به دانه انتقال داده که منجر به افزایش پروتئین دانه نیز شده است. در همین راستا، محققان بیشتر بودن میزان نیتروژن در قسمت‌های مختلف و اندام هوایی گیاهان کشت شده در سیستم کاشت مستقیم نسبت به کشت مرسوم را اعلام کرده‌اند (Dogan et al., 2012; Torabian et al., 2019).

گزارش شده است که جذب نیتروژن در گیاهانی که ریشه آن‌ها میزبان قارچ‌های مایکوریزاست، بیشتر و غلظت آن در شاخ و برگ گیاهان بالاتر از گیاهان فاقد مایکوریزا می‌باشد (Subramanian & Charest., 1999). نتایج این آزمایش با گزارش‌های فوق مطابقت دارد. افزایش قابل ملاحظه تثبیت نیتروژن اتمسفری در تیمار کشت مستقیم نسبت به کاشت مرسوم در تحقیقات دیگری نیز گزارش شده است (Mohammad et al., 2010Ruisi et al., 2012 ;). با توجه به بیشتر بودن میزان کلروفیل در تیمار کشت مستقیم نسبت به کم‌خاک‌ورزی و مرسوم در این آزمایش (جدول ۶)، بنابراین مقدار نیتروژن برگ نیز افزایش یافته است که در همین راستا، رابطه نزدیک بین کلروفیل و نیتروژن برگ نیز گزارش شده است (Evans, 1989).

کیفیت علوفه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس سال آخر آزمایش، تیمار خاک-ورزی در تمامی صفت‌های مورد مطالعه کیفیت علوفه معنی‌دار بود (جدول ۹). در این مطالعه، کشت مستقیم باعث افزایش پروتئین خالص (CP[1])، هضم‌پذیری علوفه (DMD[2])، پروتئین محلول آب (WSC[3]) و میزان خاکستر (Ash[4]) همچنین کاهش فیبر خام (CF[5])، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF[6]) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF[7]) به‌ترتیب نسبت به تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم شد. در این آزمایش، میزان پروتئین خالص و خاکستر علوفه از نظر آماری در هر دو تیمار کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۱۰)، امّا تفاوت معنی‌داری در سایر صفات اندازه‌گیری شده مربوط به کیفیت علوفه وجود داشت. احتمالاً گیاهان کاشته شده به‌روش کاشت مستقیم با توجه به بهره‌گیری از همزیستی بهتر با قارچ مایکوریزا و باکتری *ریزوبیوم* (جدول ۸) به جهت افزایش جذب بیشتر رطوبت (جدول ۷) و عناصر خاک (جدول ۸) و همچنین وجود کلروفیل بیشتر در اندام‌های هوایی و کارایی فتوسنتز بهتر (جدول ۶) توانسته‌اند ماده پروتئینی بیشتری تولید کنند، در نتیجه تولید ماده خشک و خاکستر بیشتری نیز نسبت به تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم داشته است. در همین رابطه نیز باوم و همکاران (Baum et al., 2015) در مطالعات خود به اثرات مثبت قارچ مایکوریزا و باکتری *ریزوبیوم* در جذب بیشتر آب و عناصر و رشد بهتر گیاه اشاره کرده‌اند. سایر پژوهشگران نیز اعلام کردند که قارچ مایکوریزا باعث افزایش سرعت فتوسنتز می‌شود و آن را به‌دلیل افزایش درصد نیتروژن برگ، سپس افزایش غلظت کلروفیل و راندمان مصرف فسفر در گیاه بیان کردند (Wu & Xia., 2006). با توجه به نتایج به‌دست آمده (جدول ۸)، افزایش همزیستی گره‌های ریزوبیومی در کشت مستقیم باعث تولید بیشتر نیتروژن برای گیاه شده که موجب ایجاد همبستگی (r=۰/۸۸**) معنی‌داری با درصد پروتئین خالص گردید (شکل ۲- Q). وجود کربوهیدرات‌های محلول در کم‌خاک-ورزی و کشت مرسوم موجب افزایش کربوهیدرات‌های غیر قابل حل و تولید چوب بیشتر و در نتیجه، خشبی شدن و هضم‌پذیری کمتر گیاه نسبت به کشت مستقیم شده است (جدول ۱۰). پژوهشگران هم اعلام کردند که تنش رطوبتی باعث افزایش CF و کاهش DMD در گیاه می‌شود (Arzani, 2006). در این آزمایش، همبستگی معنی‌داری بین محتوای نسبی آب برگ با پروتئین خالص (r=۰/۹۳**) و فیبر خام (r=۰/۹۱**) به‌دست آمد (شکل ۲- O, R). پایین بودن دمای تاج‌پوشش در کشت مستقیم باعث کیفیت بهتر علوفه و افزایش هضم‌پذیری آن نسبت به تیمار کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم شد (شکل ۲- S).

نتیجه‌گیری

در این آزمایش، گیاهان کشت شده در کشت مستقیم (بدون خاک‌ورزی) و کم‌خاک‌ورزی، عملکرد و ارتفاع بیشتری نسبت به کشت مرسوم نشان دادند. افزایش رطوبت نسبی برگ و اختلاف دمای تاج‌پوشش با محیط به‌صورت قابل توجهی در کشت مستقیم مشاهده شد. به‌موازات کاهش RWC، میزان کلروفیل و کاروتنوئید گیاهان کشت شده در روش مرسوم نسبت به کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم کمتر شد. حداکثر کارآیی کوانتومی فتوسیستم ۲ به‌واسطه کشت مستقیم بدون خاک‌ورزی بیشتر از کم‌خاک‌ورزی و مرسوم شد. شاخص سطح برگ در تیمار کشت مستقیم بیشتر ارزیابی گردید. درصد کلونیزاسیون، اسپوریزاسیون قارچ مایکوریزا و تعداد گره‌های ریزوبیومی رابطه مستقیمی با انواع خاک‌ورزی داشتند و افزایش معنی‌داری را در کشت مستقیم بدون خاک‌ورزی نسبت به دو تیمار

1- Crude protein
2- Dry matter digestibility
3- Water soluble carbonates
4- Percentage of ash
5- Crude fiber
6- Acid detergent fiber
7- Neutral detergent fiber

دیگر دارای خاک‌ورزی کم و کشت مرسوم از خود نشان دادند. میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پراکسید هیدروژن، مالون د آلدئید و پرولین در کشت مرسوم نسبت به کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم افزایش داشتند. کلیه پارامترهای کیفیت علوفه در کشت مستقیم نسبت به دو تیمار دیگر بهبود داشتند. به‌طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که خاک‌ورزی کاهشی به‌ویژه کشت مستقیم در شرایط دیم با توجه به تغییرات بیولوژیکی و ساختاری که در خاک به‌وجود می‌آورد، سبب تغییرات مثبت مورفوفیزیولوژیکی و کیفیت علوفه در گیاه ماشک می شود و به نظر می‌رسد که در افزایش عملکرد و بهبود شرایط رشد مؤثر می‌باشد، بنابراین با توجه به نتایج این آزمایش در اراضی دیم، خاک‌ورزی به‌صورت کشت مستقیم (بدون خاک‌ورزی) توصیه می شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان به‌خاطر مجوز انجام این آزمایش پس از اجرای پروژه خود که به‌مدت دو سال به‌صورت مستقل انجام شد، صمیمانه تشکر می کنیم.

References

1. Abdullah, A.Y., Muwalla, M.M., Qudsieh, R.I., & Titi, H.H. (2010). Effect of bitter vetch (Vicia ervilia) seeds as a replacement protein source of soybean meal on performance and carcass characteristics of finishing Awassi lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 42(2), 293-300. https://doi.org/10.1007/s11250-009-9420-x
2. Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. Methods in Enzymology, 105, 121–126. https://doi.org/10.1016/s0076-6879(84)05016-3
3. Alizadeh, K. (2019). The annual forage crops under dryland conditions-A review. *Iranian Journal of dryland Agriculture*, 8(1), 95-113. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22092/idaj.2019.124675.245
4. Alizadeh, K. & Silva, J.D, (2013). Mixed cropping of annual feed legumes with barley improves feed quantity and crude protein content under dry-land conditions. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 7 (1), 42-47. http://www.mijst.mju.ac.th/vol7/42-47.pdf
5. Al-Karaki, G., McMichael, B., & Zak, J. (2004). Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*, 14, 263–269. https://doi.org/10.1007/s00572-003-0265-2
6. Amiri Deh Ahmadi, S.R., Parsa, M., & Gangali, A. (2010). The Effects of drought stress at different phenological stages on morphological traits and yield components of a chickpea (*Cicer arietinum* L.) under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(1), 157-166. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v8i1.7406
7. Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L., & Zou, C.M. (2011a). Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. Journal of Agronomy and Crop Science, 197, 177–185. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x
8. Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Xue, L.L., & Ali, S. (2011b). Fulvic acid application improves the maize performance under well-watered and drought conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197, 409–417. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2011.00483.x
9. Arzani, H., Basiri, M. Khatibi, F., & Ghorbani, G. (2006). Nutritive value of some Zagros mountain rangeland species. *Small Ruminant Research*, 65, 128-135. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.05.033
10. Auge, R.M. (2001). Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11, 3–42. https://doi.org/10.1007/s005720100097
11. Auge, R.M., Schekel, K.A., & Wample, R.L. (1987). Leaf water and carbohydrate status of VA mycorrhizal rose exposed to drought stress. *Plant and Soil*, 99, 291–302. https://doi.org/10.1007/BF02370876
12. Auge, R.M., Toler, H.D., & Saxton, A.M. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: A meta-analysis. *Mycorrhiza*, 25(1), 13-24. https://doi.org/10.1007/s00572-014-0585-4
13. Balota, M., Amani, I., Reynolds, M.P., & Acevedo, E. (1993). Evaluation of membrane thermos ability and canopy depression as screening traits for heat tolerance in wheat. *Wheat special report* No, 20. Cimmyt, Mexico. http://hdl.handle.net/10883/1174
14. Bates, L.S., Waldren R.P., & Teare, I.D, (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

15. Baum, C., El-Tohamy, W., & Gruda, N. (2015). Increasing the productivity and product quality of vegetable crops usiong arbuscular mycorrhizal fungi. A review. *Scientia Horticulturae*, 187, 131–141. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.002
16. Blum, A. (1988). Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. https://doi.org/10.1201/9781351075718
17. Borstlap, S., & Entz, M.H. (1994). Zero-tillage influence on canola, field pea, and wheat in a dry subhumid region: agronomic and physiological responses. *Canadian Journal of Plant Science*, 74, 411–420. https://doi.org/10.4141/cjps94-078
18. Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of micro-gram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248–254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999
19. Brestic, M., Zivcak, M., Kalaji, H.M., Allakhverdiev, S.I., & Carpentier, R. (2012). Photosystem II thermo-stability in situ: Environmentally induced acclimation and genotype-specific reactions in *Triticum aestivum* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 57, 93–105. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.05.012
20. Broderick, G.A. (1995). Desirable characteristics of forage legumes for improving protein utilization in ruminants. *Journal of Animal Science*, 73(9), 2760-2773. https://doi.org/10.2527/1995.7392760x
21. Brundrett, M., Melville, L., & Peterson, L. (1994). Practical methods in mycorrhiza research. Guelph, ON, Canada: University of Guelph, Mycologue Publication. https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA24101196?l=en
22. Cannella, D., Mollers, K.B., Frigaard, N.U., Jensen, P.E., Bjerrum, M.J., Johansen, K.S., & Felby, C. (2016). Light-driven oxidation of polysaccharides by photosynthetic pigments and a metalloenzyme. *Nature Communications*, 7(1), 1-8. https://doi.org/10.1038/ncomms11134
23. Cenzano, A.M., Varela, M.C., Bertiller, M.B., & Luna, M.V. (2013). Effect of drought on morphological and functional traits of *Poa ligularis* and *Pappostipa speciosa*, native perennial grasses with wide distribution in Patagonian rangelands, Argentina. Australian *Journal of Botany*, 61(5), 383-393. http://dx.doi.org/10.1071/BT12298
24. Chaieb, N., Rezgui, M., Ayed, S., Bahri, H., Cheikh M'hamed, H., Rezgui, M., & Annabi, M. (2020). Effects of tillage and crop rotation on yield and quality parameters of durum wheat in Tunisia. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 44(2), 7654-7676. https://doi.org/10.35759/JAnmPlSci.v44-2.7
25. Corsi, S., & Muminjanov, H. (2019). Conservation agriculture: Training guide for extension agents and farmers in Eastern Europe and Central Asia. Rome, Food and Agriculture Organization United Nations. 136 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO; https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo
26. Dat, J., Vandenbeele, S., Vranova, E., VanMontagu, M., Inze, D., & VanBreusegem, F. (2000). Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 57, 779–795. https://doi.org/10.1007/s000180050041
27. Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa, P., & Thorpe, T.A. (1981). Leaf senescence: Correlated with increased leaves of membrane permeability and lipid peroxidation and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, 32(1), 93–101. https://doi.org/10.1093/jxb/32.1.93
28. Dogan, K., Celik, I., Gok, M., & Coskan, A. (2012). Effect of different soil tillage methods on rhizobial nodulation, biyomas and nitrogen content of second crop soybean. *African Journal of Microbiology Research*, 5, 3186–3194. https://doi.org/10.5897/AJMR11.165
29. Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substrates. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356. https://doi.org/10.1021/ac60111a017
30. Eke, P., Chatue, G.C., Wakam, L.N., Kovipou, R.M.T., Fokou, P.V.T., & Boyom, F.F. (2016). Mycorrhiza consortia suppress the fusarium root rot (*Fusarium solani* f. sp. phaseoli) in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Biological Control*, 103, 240-250. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.10.001
31. Emam, Y., Shekoofa, A., Salehi, F., & Jalali, A.H.P. (2010). Water stress effects on two common bean cultivars with contrasting growth habits. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 9(5), 495-499. https://doi.org/10.1080/03650340.2010.530256
32. Erman, M., Demir, S., Ocak, E., Tufenkci, S., Oguz, F., & Akkopru, A. (2011). Effects of Rhizobium, arbuscular mycorrhiza and whey applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed conditions 1-Yield, yield components, nodulation and AMF colonization. *Field Crops Research*, 122(1), 14-24. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.02.002
33. Evans, J.R. (1989). Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia*, 78(1), 9-19. https://doi.org/10.1007/BF00377192

34. 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
35. FAO, (2019). Conservation Agriculture, Available online at: https://www.fao.org/3/i7154en/i7154en.
36. Farshadfar, E., & Mohammadi, R. (2003). An evaluation of physiological indices of drought tolerance in agropyron using multiple selection index. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 34(3), 635-646. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v14i4.41406
37. Fiorentini, M., Zenobi, S., Giorgini, E., Basili, D., Conti, C., Pro, C., Monaci, E., & Orsini, R. (2019). Nitrogen and chlorophyll status determination in durum wheat as influenced by fertilization and soil management: Preliminary results. *Plos One*, 14, e0225126. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225126
38. Firincioglu, H.K., Unal, S., Erbektas, E., & Dogruyol, L. (2010). Relationships between seed yield and yield components in common vetch (Vicia sativa ssp. sativa) populations sown in spring and autumn in central Turkey. *Field Crops Research*, 116(1-2), 30-37. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.11.005
39. Flexas, J., Escalona, J.M., Evain, S., Gulı´as, J., Moya, I., Osmond, C.B., & Medrano, H. (2002). Steady-state chlorophyll fluorescence (Fs) measurements as a tool to follow variations of net CO2 assimilation and stomatal conductance during water-stress in C3 plants. *Physiologia Plantarum*, 114, 231–240. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1140209.x
40. Gill, S.S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, 909–930. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016
41. Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologyst*, 84, 489–500. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x
42. Guidi, L., & Calatayud, A. (2014). Non-invasive tools to estimate stress induced changes in photosynthetic performance in plants inhabiting Mediterranean areas. *Environmental and Experimental Botany*, 103, 42–52. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.12.007
43. Gupta, N.K., Gupta, S., & Kumar, S. (2001). Effect of water stress on physiological attributes and their relationship with growth and yield of wheat cultivars at different stages. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186, 55–62. https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2001.00457.x
44. Habibzadeh, Y., Jalilian, J., Zardashti, M.R., Pirzad, A., & Eini, O. (2015). Some morpho-physiological characteristics of mung bean mycorrhizal plant under different irrigation regimes in field condition. *Journal of Plant Nutrition*, 38(11), 1754-1767. https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1043374
45. Hansen, N.C., Allen, B.L., Baumhardt, R.L., & Lyon, D.J. (2012). Research achievements and adoption of no-till, dryland cropping in the semi-arid US Great Plains. *Field Crops Research*, 132, 196–203. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.02.021
46. Hatfield, J.L., Quisenberry, J.E., & Dilbeck, R.E. (1987). Use of canopy temperature to identify water conservation in cotton germplasm. *Crop Science*, 27, 269-273. https://doi.org/10.2135/cropsci1987.0011183X002700020030x
47. Hemmat, A., & Eskandari, I. (2006). Dryland winter wheat response to conservation tillage in a continuous cropping system in Northwestern Iran. *Soil and Tillage Research*, 86, 99–109. https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.003
48. Hemmat, A., & Eskandari, I. (2004). Tillage system effects upon productivity of a dryland winter wheat chickpea rotation in the northwest region of Iran. *Soil and Tillage Research*, 78, 69–81. https://doi.org/10.1016/j.still.2004.02.013
49. Hirayama, M., Wada, Y., & Nemoto, H. (2006). Estimation of drought tolerance based on leaf temperature in upland rice breeding. *Breeding Science*, 56(1), 47-54. https://doi.org/10.1270/jsbbs.56.47
50. Houborg, R., McCabe, M., Cescatti, A., Gao, F., Schull, M., & Gitelson, A. (2015). Joint leaf chlorophyll content and leaf area index retrieval from landsat data using a regularized model inversion system (REGFLEC). *Remote Sensing Environment*, 159, 203–221. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.12.008
51. Huang, M., Zou, Y., Jiang, P., Xia, B., Feng, Y., Cheng, Z. and Mo, Y. (2012). Effect of tillage on soil and crop properties of wet-seeded flooded rice. *Field Crops Research*, 129, 28–38. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.01.013
52. Jafari, 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 Agriculture and Food Research*, 42(2), 293-299. https://www.jstor.org/stable/25562497
53. Jiang, S., Liu, Y., Luo, J., Qin, M., Johnson, N.C., Opik, M., Vasar, M., Chai, Y., Zhou, X., Mao, L., & Du, G. (2018). Dynamics of arbuscular mycorrhizal fungal community structure and functioning along a nitrogen enrichment gradient in an alpine meadow ecosystem. *New Phytologist*, 220, 1222-1235. https://doi.org/10.1111/nph.15112

54. Kalaji, M.H., Bosa, K., Kos´cielniak, J., & Hossain, Z. (2011). Chlorophyll a fluorescence—A useful tool for the early detection of temperature stress in spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Omics: A Journal of Integrative Biology*, 15(12), 925-934. https://doi.org/10.1089/omi.2011.0070
55. Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M., & Sharma, A. (2020). The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences*, 10(16), 5692. https://doi.org/10.3390/app10165692
56. Kaschuk, G., Alberton, O., & Hungria, M. (2010). Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. *Soil Biology and Biochemistry*, 42, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.08.020
57. Kaushal, M., & Wani, S.P. (2016). Rhizobacterial-plant interactions: Strategies ensuring plant growth promotion under drought and salinity stress. Agriculture, Ecosystems and Environment, 231, 68–78. https://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.031
58. Khan, N., Bano, A., Rahman, M.A., Rathinasabapathi, B., & Babar, M.A. (2019). UPLC-HRMS-based untargeted metabolic profiling reveals changes in chickpea (*Cicer arietinum*) metabolome following long-term drought stress. *Plant Cell and Environment*, 42(1), 115-132. https://doi.org/10.1111/pce.13195
59. Kitson, R.E., & Mellon, M.G. (1944). Colorimetric determination of phosphorus as molydovanado phosphoric acid. *Industrial and Engineering Chemistry Analytical Edition*, 16(6), 379-383. https://doi.org/10.1021/i560130a017
60. Kjeldahl, J. (1883). Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen Körpern. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 22, 366–382. https://doi.org/10.1007/BF01338151
61. Kurdali, F., Sharabi, N.E., & Arsalan, A. (1996). Rainfed vetch-barley mixed cropping in the Syrian semi-arid conditions. *Plant and Soil*, 183(1), 137-148. https://doi.org/10.1007/BF02185573
62. Lampurlanés, J., Plaza-Bonilla, D., & Álvaro-Fuentes Cantero-Martinez, C. (2016). Long-term analysis of soil water conservation and crop yield under different tillage systems in Mediterranean rainfed conditions. *Field Crops Research*, 189, 59–67. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.010
63. Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R.I., Ma, B.L., & Smith, D.L. (2000). Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (Zea mays L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. *Mycorrhiza*, 9, 331–336. https://doi.org/10.1007/s005720050277
64. Liu, A., Plenchette, C., & Hamel, C. (2007). Soil nutrient and water providers: How arbuscular mycorrhizal mycelia support plant performance in a resource limited world. In: Hamel, C., Plenchette, C. (Eds.), Mycorrhizae in Crop Production. Haworth Food and Agricultural Products Press, Binghamton, New York, Chapter 2, pp. 37–66.
65. Lopez-Bellido, R.J., López-Bellido, L., Benítez-Vega, J., Muñoz-Romero, V., López-Bellido, F.J., & Redondo, R. (2011a). Chickpea and faba bean nitrogen fixation in a Mediterranean rainfed Vertisol: Effect of the tillage system. *European Journal of Agronomy*, 34(4), 222–230. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.01.005
66. Lopez-Bellido, L., Benítez-Vega, J., García, P., Redondo, R., & López-Bellido, R.J. (2011b). Tillage system effect on nitrogen rhizodeposited by faba bean and chickpea. *Field Crops Research*, 120, 189–195. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.10.001
67. Loreto, F., & Velikova, V. (2001). Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. *Plant Physiology*, 127, 1781–1787. https://doi.org/10.1104/pp.010497
68. MacAdam, J.W., Nelson, C.J., & Sharp, R.E. (1992). Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. *Plant Physiology*, 99, 872–878. https://doi.org/10.1104/pp.99.3.872
69. Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C., & Sohrabi, Y. (2010). Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 4, 580-585. https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.857341254680658
70. Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C., & Sohrabi, Y. (2011). Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpeas (*Cicer arietinum*) cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 5, 1255-1260. https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.746357591676684
71. Man, J.G., Yu, Z.W., & Shi, Y. (2017). Radiation interception, chlorophyll fluorescence and senescence of flag leaves in winter wheat under supplemental irrigation. *Scientific Reports*, 7, 7767. https://doi.org/10.1038/s41598-017-07414-2
72. Merah, O. (2001). Potential importance of water status traits for durum wheat improvement under Mediterranean conditions. *The Journal of Agricultural Science*, 137(2), 139-145. https://doi.org/10.1017/S0021859601001253
73. Ministry of Agricultural Jahad. (2020). Agricultural Products Statistics, 1, p. 89. (In Persian)
74. Mirzakhani, M., Ardakani, M.R., Rejali, F., Shirani, R.A., & Aeene Band, A. (2010). Evaluation of seed twofold inoculation by fungi *Glomus intraradices* Mycorrhiza and *Azotobacter chorococum* with various nitrogen and

phosphorus levels use on oil yield and some of traits in safflower. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 6(1), 75-87. (In Persian with English abstract)

75. Mohammad, W., Shehzadi, S., Shah, S.M., & Shah, Z. (2010). Effect of tillage and crop residues management on mungbean (Vigna raiata) crop yield, nitrogen fixation and water use efficiency in rainfed areas. *Pakistan Journal of Botany*, 42(3), 1781–1789.
76. Munyao, J.K., Gathaara, M.H., & Micheni, A.F. (2019). Effects of conservation tillage on maize (*Zea mays* L.) and beans (*Phaseolus vulgaris* L.) chlorophyll, sugars and yields in humic nitisols soils of Embu County, Kenya. *African Journal of Agricultural Research*, 14(29), 1272-1278. https://doi.org/10.5897/AJAR2019.14086
77. Nageswara, Rao. R.C., Talwar, H.S., & Wright, G.C. (2001). Rapid assessment of specific leaf area and leaf nitrogen in peanut (*Arachis hypogaea* L.) using chlorophyll meter. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189, 175_182. https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2001.00472.x
78. Neumann, A., Schmidtke, K., & Rauber, R. (2007). Effects of crop density and tillage system on grain yield and N uptake from soil and atmosphere of sole and intercropped pea and oat. *Field Crops Research*, 100, 285–293. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.08.001
79. Ngwira, A., Aune, J.B., & Mkwinda, S. (2012). On-farm evaluation of yield and economic benefit of short term maize legume intercropping systems under conversation agriculture in Malawi. *Field Crops Research*, 132, 84–94. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.014
80. Oldfield, E.E., Bradford, M.A., & Wood, S.A. (2019). Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. *Soil*, 5, 15–32. https://doi.org/10.5194/soil-5-15-2019
81. Owusu-Apenten, R.K. (2002). Food Protein Analysis: Quantitative Effects on Processing. Marcel Dekker, New York. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780203910580
82. Piggin, C., Haddad, A., Khalil, Y., Loss, S., & Pala, M. (2015). Effects of tillage and time of sowing on bread wheat, chickpea, barley and lentil grown in rotation in rain-fed systems in Syria. *Field Crops Research*, 173, 57-67. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.12.014
83. Qingjiea, W., Caiyuna, L., Hongwena, L., Jina, H., Kumer Sarker, K., Rabi, G., Rasaily, A., Liang Zhonghuic, L., Xiaodonga, Q., Huia, L., & David Jack, A. (2014). The effects of no-tillage with subsoiling on soil properties and maize yield: 12-Year experiment on alkaline soils of Northeast China. *Soil and Tillage Research*, 137, 43-49. https://doi.org/10.1016/j.still.2013.11.006
84. Qiu, T., Jiang, L., Li, S., & Yang, Y. (2017). Small-scale habitat-specific variation and adaptive divergence of photosynthetic pigments in different alkali soils in reed identified by common garden and genetic tests. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2016. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02016
85. Rahimzadeh, S., & Pirzad, A. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi and Pseudomonas in reduce drought stress damage in flax (*Linum usitatissimum* L.): A field study. *Mycorrhiza*, 27(6), 537–552. https://doi.org/10.1007/s00572-017-0775-y
86. Ramamoorthy, P., Lakshmanan, K., Upadhyaya, H.D., Vadez, V., & Varshney, R.K. (2016). Shoot traits and their relevance in terminal drought tolerance of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*, 197, 10–27. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.016
87. Rastegar, M.A. (2005). Forage Crops Production. Norpardazan Publishers, Iran. pp. 275. (In Persian)
88. Rebolé Garrigós, A., Alzueta Lusarreta, C., Ortiz Vera, L.T., Barro de Neyra, M., Rodríguez Membibre, M.L. & Caballero, R. (2004). Yields and chemical composition of different parts of the common vetch at flowering and at two seed filling stages. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2(4), 550-557. https://doi.org/10.5424/sjar/2004024-111
89. Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., & Vivekanandan, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161, 1189–1202. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.013
90. Reiter, K., Schmidtke, K., & Rauber, R. (2002). The influence of long-term tillage systems on symbiotic N2 fixation of pea (Pisum sativum L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.). *Plant and Soil*, 238, 41–55. https://doi.org/10.1023/A:1014240311597
91. Reynolds, M.P., Pierre, C.S., Saad, A.S., Vargas, M., & Condon, A.G. (2007). Evaluating potential genetic gains in wheat associated with stress-adaptive trait expression in elite genetic resources under drought and heat stress. *Crop Science*, 47, 172-189. https://doi.org/10.2135/cropsci2007.10.0022IPBS
92. Roohi, E., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Modarres Sanavy, S.A.M., & Siosemardeh, A. (2015). Association of some photosynthetic characteristics with canopy temperature in three cereal species under soil water deficit condition. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17, 1233-1244.

93. Rosner, K., Hage-Ahmed, K., Bodner, G., & Steinkellner, S. (2020). Soil tillage and herbicide applications in pea: arbuscular mycorrhizal fungi, plant growth and nutrient concentration respond differently. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(12), 1679-1691. https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1688788
94. Rowland, D.L., Smith, C., Cook, A., Mason, A., Schreffler, A., & Bennett, J. (2015). Visualization of peanut nodules and seasonal nodulation pattern in different tillage systems using a minirhizotron system. *Peanut Science*, 42, 1–10. https://doi.org/10.3146/0095-3679-42.1.1
95. Ruisi, P., Giambalvo, D., Di Miceli, G., Frenda, A.S., Saia, S., & Amato, G. (2012). Tillage effects on yield and nitrogen fixation of legumes in mediterranean conditions. *Agronomy Journal*, 104, 1459–1466. https://doi.org/10.2134/agronj2012.0070
96. Rusinamhodzi, L., Corbeels, M., van Wijk, M., Rufinio, M.C., Nyamangara, J., & Giller, K.E. (2011). A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture practices on maize yields under rain-fed conditions. *Agronomy for Sustainable Development*, 31, 657–673. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0040-2
97. Safari, A., Asodar, M.A., Ghaseminejad, M., & Abdalimashhady, E. (2014). Effect reserve residue, conventional tillage systems and seeding on soil physical properties and wheat yield. *Iranian Journal of Agriculture Science and Stability Production*, 23(2), 49-59. (In Persian with English abstract).
98. Saglam, A., Kadioglu, A., Terzi, R.A.B.İ.Y.E., & Saruhan, N. (2008). Physiological changes in them in post-stress emerging *Ctenanthe setosa* plants under drought conditions. *Russian Journal of Plant Physiology*, 55(1), 48-53. https://doi.org/10.1134/S1021443708010056
99. Sairam, R.K., Rao, K.V., & Srivastava, G.C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163(5), 1037-1046. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00278-9
100. Sapkota, J.R.K., Singh, T.B., Jat, R.G., Kumar, M.L., & Gupta, R.K. (2014). Seven years of conservation agriculture in a rice–wheat rotation of Eastern Gangetic Plains of South Asia: Yield trends and economic profitability. *Field Crops Research*, 164, 199-210. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.04.015
101. Sarker, A.M., Rahman, M.S., & Paul, N.K. (1999). Effect of soil moisture on relative leaf water content, chlorophyll, proline and sugar accumulation in wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 183(4), 225-229. https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.1999.00339.x
102. Shinde, B.P., & Singh, N. (2017). Efficacy of AM fungi against drought stress on sweet corn cultivars with special reference to biochemical contents. *International Journal of Bioassays*, 6, 5399-5406. http://dx.doi.org/10.21746/ijbio.2017.06.004
103. Shiwakoti, S., Zheljazkov, V.D., Gollany, H.T., Kleber, M., & Xing, B. (2019). Effect of tillage on macronutrients in soil and wheat of a long-term dryland wheat-pea rotation. *Soil and Tillage Research*, 190, 194-201. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.02.004
104. Subramanian, K.S., & Charest, C. (1999). Acquisition of N by external hyphae of an arbuscular mycorrhizal fungus and its impact on physiological responses in maize under drought-stressed and well-watered conditions. *Mycorrhiza*, 9, 69–75. https://doi.org/10.1007/s005720050002
105. Tesfaye, K., Walker, S., & Tsubo, M. (2006). Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. *European Journal of Agronomy*, 25(1), 60-70. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.04.014
106. Thierfelder, C., & Wall, P.C. (2010). Rotation in conservation agriculture systems of Zambia: Effects on soil quality and water relations. *Experimental Agriculture*, 46(3), 309-325. https://doi.org/10.1017/S001447971000030X
107. Torabian, S., Farhangi-Abriz, S., & Denton, M.D. (2019). Do tillage systems influence nitrogen fixation in legumes? A review. *Soil and Tillage Research*, 185, 113–121. https://doi.org/10.1016/j.still.2018.09.006
108. Verbruggen, N., & Hermans, C. (2008). Proline accumulation in plants: A review. *Amino Acids*, 35(4), 753 759. https://doi.org/10.1007/s00726-008-0061-6
109. Vierheilig, H., Coughlan, A.P., Wyss, U., & Piche, Y. (1998). Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(12), 5004–5007. https://doi.org/10.1128/AEM.64.12.5004-5007.1998
110. Wang, G.P., Zhang, X.Y., Li, F., Luo, Y., & Wang, W. (2010). Over accumulation of glycine betaine enhances tolerance to drought and heat stress in wheat leaves in the protection of photosynthesis. *Photosynthetica*, 48(1), 117-126. https://doi.org/10.1007/s11099-010-0016-5
111. Wang, L.F., & Shangguan, Z.P. (2015). Photosynthetic rates and kernel-filling processes of big-spike wheat (*Triticum aestivum* L.) during the growth period. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 43, 182-192. https://doi.org/10.1080/01140671.2014.994644

112. Wang, X., Zhang, X., Chen, J., Wang, X., Cai, J., Zhou, Q., & Jiang, D. (2018). Parental drought-priming enhances tolerance to post-anthesis drought in offspring of wheat. *Frontiers in Plant Science*, 9, 261. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00261
113. Wasaya, A., Tahir, M., Ali, H., Hussain, M., Yasir, T.A., Sher, A., & Ijaz, M. (2017). Influence of varying tillage systems and nitrogen application on crop allometry, chlorophyll contents, biomass production and net returns of maize (*Zea mays* L.). *Soil and Tillage Research*, 170, 18–26. https://doi.org/10.1016/j.still.2017.02.006
114. Wellburn, A.R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144, 307–313. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2
115. Wilkinson, S., & Davies, W.J. (2002). ABA-based chemical signaling: The coordination of responses to stress in plants. *Plant Cell and Environment*, 25, 195–210. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00824.x
116. Wu, Q.S., & Xia, R.X. (2006). Arbuscolar mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of Plant Physiology*, 163, 417-425. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.04.024
117. Xu, M., Liu, R., Chen, J.M., Liu, Y., Shang, R., Ju, W., Wu, C., & Huang, W. (2019). Retrieving leaf chlorophyll content using a matrix-based vegetation index combination approach. *Remote Sensing of Environment*, 224, 60–73. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.039
118. Zakar, T., Laczko-Dobos, H., Toth, T.N., & Gombos, Z. (2016). Carotenoids assist in cyanobacterial photosystem II assembly and function. *Frontiers in Plant Science*, 7, 295. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00295
119. Zhang, X.K., Li, Q., Zhu, A.N., Liang, W.J., Zhang, J.B., & Steinberger, Y. (2012). Effects of tillage and residue management on soil nematode communities in North China. *Ecological Indicators*, 13(1), 75–81. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.05.009
120. Zhang, Z.L., & Qu, W. (2004). Experimental Guidance of Plant Physiology, High Education Press, Beijing, China.
121. Zivcak, M., Brestic, M., Balatova, Z., Drevenakova, P., Olsovska, K., Kalaji, M.H., & Allakhverdiev, S.I. (2013). Photosynthetic electron transport and specific photoprotective responses in wheat leaves under drought stress. Photosynthesis Research, 117, 529–546. https://doi.org/10.1007/s11120-013-9885-3

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

Research Article
Vol. 16, No. 1, 2024, p. 47-62

The Effect of Seed Inoculation with *Funneliformis mossea* Mycorrhiza on Some Morphophysiological and Biochemical Traits of Barley (*Hordeum vulgare* L.) Under Salinity Stress Conditions

Fatemeh Sadat Ghabous[1], Seyed Abdolreza Kazemeini[2*] and Mehdi Zarei[3]

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

Received: 02-06-2022
Revised: 29-07-2022
Accepted: 18-09-2022
Available Online: 18-09-2022

How to cite this article:
Ghabous, F.S., Kazemeini, S.A., & Zarei, M. (2024). The Effect of Seed Inoculation with *Funneliformis mossea* Mycorrhiza on Some Morphophysiological and Biochemical Traits of Barley (*Hordeum vulgare* L.) Under Salinity Stress Conditions. *Journal of Agroecology*, *16*(1), 47-62. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2022.76917.1115

Introduction

Barley is the fourth most important cereal in the world and is considered one of the least expected crops that has adapted and distributed globally due to its resistance to salinity. The growing world's population has expanded the cultivated domain, which caused the utilization of extravagant chemical fertilizers in modern agricultural cropping systems. This approach has not been cost-effective and has caused severe environmental damages like contaminating the underground water and creating unusual salinity in the fields. Therefore, it seems to be essential to replace risky approaches with eco-friendlier methods. In addition, with increasing environmental stress as a result of climate warming, we need to understand better ways to reduce environmental stress for the sustainable production of barley. Mycorrhiza has been introduced as an essential portion of agricultural ecosystems because of its positive effect on the soil texture, growth, and productivity of almost all host plants. This trend is attributed to reduced chemical fertilizer demands. Mycorrhiza enhances the water relations under stress conditions, water and nutrient uptake by augmenting the hyphae network. In this study we aimed to investigate the role of mycorrhizal inoculation in alleviating the detrimental effects of salinity stress on barley. Our hypotheses were: (i) mycorrhizal inoculation can alleviate the detrimental effect of stress at low to medium levels but not at high levels of salinity, and (ii) there is an interaction effect of low levels of salinity and arbuscular mycorrhizal symbiosis lead to higher the performance of barley.

Materials and Methods

In order to evaluate the effects of *Funneliformis mossea*e mycorrhiza on morphological, biochemical and yield of barley, one experiment was conducted in research farm of School of Agriculture, Shiraz University. Field experiment was a split-plot in a randomized complete block design with three replications. Factors included salinity levels (0.4, 4, 8 and 12 dS m^{-1}) as the main factor and the mycorrhiza (with and without) was

©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.2022.76917.1115

applied as sub factor. Data were analyzed by using SAS 9.2 software and the means were separated using LSD test at 5% probability level.

Results and Discussion

The results of the experiment showed that salinity decreased yield and vegetation traits, including plant height, number of tillers per plant, number of spikes per plant, number of seeds per spike, 1000-grain weight, grain yield, and biological yield. All the measured traits in plants inoculated with mycorrhizal fungi were higher than the non-mycorrhizal plants. The inoculation of plants in most cases improved the effects of stress; i.e., inoculation under high salinity stress (12 dS m^{-1}) increased SOD by 5.7%, CAT by 8.0%, K concentration by 30.8%, K/Na ratio by 131.1%, plant height by 8.1%, number of spikes per plant by 9.4%, number of grain per spike by 6.6%, 1000-grain weight by 4.2%, grain yield by 20.2%, and biological yield by 11.0% compared with non-inoculation plants. Also, Fayaz and Zahedi (2021) reported that mycorrhizal inoculation could promote the growth and salt tolerance of wheat cultivars by improving osmoregulation and antioxidant enzyme activity and reducing the Na^+/K^+ ratio.

Conclusion

In this experiment, inoculation treatment alleviated the high salinity stress (12 dS m^{-1}) effects in most cases and raised the grain yield and K^+/Na^+ ratio up to 20.2 and 131.1%, respectively, compared with non-inoculation plants. The results from this experiment showed that *Funneliformis mosseae* fungi inoculation could promote the growth and salt tolerance of barley by improving antioxidant enzyme activity, and ion homeostasis. In summary, the use of *Funneliformis mosseae* could reduce salinity damages by improving the physiological and biochemical responses of barley. This study highlighted the potential role of *Funneliformis mosseae* inoculation, in particular with native strains, as an innovative and eco-friendly technology for a sustainable crop-growing system in arid and semi-arid areas.

Keywords: Antioxidant enzymes, K^+/Na^+ ratio, Yield, Yield components

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص ۶۲-۴۷

تأثیر مایه‌زنی بذر با قارچ‌ریشه *Funneliformis mosseae* بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط تنش شوری

فاطمه السادات قابوس[۱]، سید عبدالرضا کاظمینی[۲*] و مهدی زارعی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۷

چکیده

به‌منظور ارزیابی برهم‌کنش قارچ‌ریشه *Funneliformis mosseae* بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی جو (*Hordeum vulgare* L.)، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز اجرا شد. فاکتورها شامل سطوح شوری آب (شاهد (۰/۴)، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) به‌عنوان فاکتور اصلی و قارچ‌ریشه (با قارچ و بدون قارچ) به‌عنوان فاکتورهای فرعی بودند. نتایج نشان داد که افزایش شوری باعث کاهش صفات ارتفاع ساقه، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک شد. تلقیح قارچ‌ریشه در بالاترین سطح تنش شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) در اکثر صفات باعث بهبود و یا کاهش آثار سوء تنش گردید و با افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز، غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم به ترتیب به‌میزان ۸/۰، ۵/۷، ۳۰/۸ و ۱۳۱/۱ درصد، منجر به بهبود ارتفاع بوته، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب به‌میزان ۸/۱، ۹/۴، ۶/۶، ۴/۲، ۲۰/۲ و ۱۱/۰ درصد در مقایسه با تیمار بدون تلقیح شد. همچنین، تلقیح بذر با قارچ‌ریشه در بالاترین سطح شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) باعث کاهش ۴۳/۲ درصد غلظت سدیم در مقایسه با شرایط بدون تلقیح شد. نتایج این پژوهش نشان داد که تلقیح قارچ‌ریشه می‌تواند از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و همئوستازی یونی، منجر به توسعه رشد و تحمل به شوری جو شود.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، عملکرد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، نسبت پتاسیم به سدیم

مقدمه

جو با نام علمی *Hordeum vulgare* L. از خانواده غلات، جزء قدیمی‌ترین گیاهان زراعی می‌باشد که پیشینه کشت آن به ۹۵۰۰ سال پیش از میلاد برمی‌گردد (Khajehpour, 2014). این گیاه پس از گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) چهارمین غله مهم دنیا است و دامنه سازگاری و پراکنش این گیاه در مقایسه با سایر گیاهان گسترده‌تر بوده و تحمل بیشتری نسبت به تنش‌های غیرزنده از جمله شوری دارد. این گیاه با آستانه تحمل به شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر، جزء گیاهان متحمل به تنش شوری طبقه‌بندی می‌شود. میزان پروتئین آن در مقایسه با سورگوم (*Sorghum bicolor*) و ذرت بیشتر بوده و به همین علت، در مناطقی که طول فصل رشد کوتاه است و یا آب کافی برای زراعت ذرت وجود ندارد، جایگزین مناسبی می‌باشد (Khajehpour, 2014). سطح زیر کشت جو در سال ۲۰۲۰ در ایران

۱و ۲ - به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران.
(*- نویسنده مسئول:
Email: akazemeini@shirazu.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2022.76917.1115

و جهان به‌ترتیب حدود ۲ و ۵۱ میلیون هکتار بوده و میزان تولید آن حدود ۴ و ۱۵۷ میلیون تن و همچنین متوسط عملکرد آن ۱/۷ و ۳ تن در هکتار می‌باشد (FAO, 2020).

بر اساس یک برآورد، حدود ۸۳۱ میلیون هکتار از اراضی توسط نمک‌های محلول آلوده شده که حدود هفت درصد از کل اراضی جهان را تشکیل می‌دهد (Mustafa et al., 2019Bothe, 2012 ;) و انتظار می‌رود با گسترش شوری، شاهد ایجاد اثرات مخرب زیست-محیطی و از دست‌روی ۱/۵ میلیون هکتار اراضی آبی در بخش کشاورزی به‌صورت سالانه در جهان باشیم و تا سال ۲۰۵۰ حدود ۵۰ درصد از اراضی زراعی شور شوند (Abd El-Ghany & Attia, Huang et al., 20102020 ;). کشور ایران پس از هند و پاکستان (Vashev et al., 2010)، با ۶/۸ میلیون هکتار اراضی شور در صدر کشورهای در معرض تنش شوری قرار دارد و حدود ۳/۵ میلیون هکتار از اراضی زراعی نیز درگیر درجات مختلف شوری است (Banaei et al., 2004). تنش شوری به‌وسیله کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک باعث آشفتگی در تعرق و تنفس شده و با بر هم زدن تعادل یونی درون خاک، تغذیه و فرایند متابولیکی گیاه را دچار مشکل می-نماید. تنش خشکی پیامد بعدی شوری است که با تغییر در وضعیت آبی گیاه، رشد اولیه و تولید را محدود می‌سازد (Saadeghi-Azar et al., 2013 Yadav et al., 2012 ;). افزایش غلظت شوری با کاهش رشد اندام هوایی در گندم نان، گندم ماکارونی و جو همراه بوده است (Colmer et al., 2006). افزایش شوری با کاهش درصد جوانه‌زنی و پارامترهای رشدی همچون وزن تر و وزن خشک ریشه و اندام هوایی منجر به کاهش عملکرد در گیاهان جو و گندم شد (Fayaz & Zahedi, 2021). همچنین محققین بیان نمودند که تنش شوری از طریق افزایش تنش اسمزی و کاهش جذب مواد غذایی باعث افت عملکرد گندم می‌شود (Fayaz Abdel-Fattah & Asrar, 2012; & Zahedi, 2021). تنش شوری از طریق افزایش رادیکال‌های آزاد در گیاه، منجر به تخریب غشایی و نشت الکترولیتی (Sajedi et al., 2010) شده و از راه‌های مختلف مثل بسته شدن روزنه‌های برگ، کاهش تبادل دی‌اکسیدکربن و محدودیت گسترش و تعداد برگ، فتوسنتز را در گیاه زراعی کاهش می‌دهد (Wang et al., 2022). شوری با کاهش غلظت پتاسیم و افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی همراه بوده (Yadav et al., 2012) که این پارامترها با رشد و عملکرد گیاهان زراعی رابطه مستقیم داشته و از این جهت، شاخص‌های ارزشمندی در ارزیابی ارقام مقاوم در شرایط تنش شوری است (Khajehpour, 2014). احدی و همکاران (Ahadi et al., 2021) بیان کردند که شوری با افزایش گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو همراه بود. پژوهشگران همچنین گزارش کردند که وزن دانه و سرعت پر شدن دانه جو با افزایش شوری کاهش یافت (Mahlooji, 2022).

استفاده از محرک‌های زیستی یکی از راهکارهای مؤثر در شرایط تنش به‌شمار می‌آید. محرک‌های زیستی شامل کاربرد هر ماده یا ریزجانداربه‌منظور افزایش کارایی جذب عناصر غذایی، تحمل به تنش‌های غیر زنده و یا افزایش کیفیت گیاه زراعی است (Abd El-Ghany & Attia, 2020). قارچ‌ریشه به‌عنوان یکی از محرک‌های زیستی نقش مهمی در کاهش اثرات سوء تنش شوری بر گیاهان دارد. بر همین اساس، تلقیح بذر گندم با Nicolson & (Gerd.) *Funneliformis mosseae* از طریق افزایش فعالیت آنزیم-های آنتی‌اکسیدان و نسبت پتاسیم به سدیم، اثرات سوء تنش شوری را کاهش داد (Fayaz & Zahedi, 2021). کاربرد قارچ‌ریشه با افزایش وزن خشک ریشه و افزایش عملکرد گندم (افزایش طول سنبله، وزن سنبله و وزن هزار دانه) همراه است (Saxena et al., 2013). تلقیح قارچ‌ریشه *F. mosseae*، *G. etunicatum* و *G. mosseae* با افزایش میزان کلونیزاسیون ریشه، باعث افزایش جذب آب و عناصر غذایی کم تحرک همچون فسفر، روی و افزایش تولید سنبله، افزایش غلظت آهن و فسفر در اندام هوایی، بهبود تولید زیست‌توده و افزایش عملکرد دانه در *Gleditsia sinensis* و گندم شد (Al-Karaki et al., 2004Wang et al., 2022 ;). تلقیح قارچ-ریشه گونه *G. intraradices* و *Azotobacter chroococcum* باعث بهبود سیستم ریشه‌ای و استقرار گیاه و افزایش تعداد پنجه، ارتفاع ساقه، طول و وزن ریشه و عملکرد در نیشکر، جو و گندم شد (Hosseini et al., 2021; Behl et Surendran & Vani, 2013; al., 2003). پژوهشگران همچنین گزارش کردند که کاربرد *گلوموس موسه* در شرایط تنش آبی توانست عملکرد دانه، وزن هزار دانه و زیست‌توده جو را به‌ترتیب میزان ۱۰۶، ۸۳ و ۴۱ درصد در مقایسه با تیمار بدون تلقیح افزایش دهد (Jerbi et al., Jerbi et al., 2022a; 2022b).

توسعه شوری زمین‌های کشاورزی در سیستم‌های نوین زراعی از جمله مشکلاتی است که بخش کشاورزی با آن مواجه می‌باشد. از

طرف دیگر، استفاده از قارچ‌ریشه‌ها که به‌عنوان کود زیستی شناخته شده، می‌تواند اثرات مثبتی در جهت تعدیل نتایج منفی ناشی از تنش شوری داشته باشد. بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر برهم‌کنش تنش شوری و قارچ‌ریشه بر ویژگی‌های رشد و عملکرد جو اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر قارچ‌ریشه بر رشد و جذب عناصر غذایی در شرایط آبیاری با آب شور، آزمایشی به‌صورت اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در باجگاه (′۵۸ °۵۲ شرقی، ′۷۴ °۲۹ شمالی و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا) در ۱۱ کیلومتری شمال شرقی شیراز در سال ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورها شامل سطوح شوری آب آبیاری (شاهد (۰/۴)، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) به‌عنوان فاکتور اصلی و قارچ‌ریشه *Funneliformis mosseae* (با و بدون تلقیح) به‌عنوان فاکتورهای فرعی اعمال گردید. پیش از کشت گیاه در زمین اصلی، برای تعیین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی 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 صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

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

هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC ($dS.m^{-1}$)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	نیتروژن کل Total N (%)	کربن آلی O.C. (%)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)
0.97	40	39	21	0.15	1.23	17.0

جهت آماده‌سازی زمین، عملیات شخم توسط گاوآهن برگردان‌دار در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک همراه با دو بار دیسک عمود بر هم انجام شد. بعد از تهیه بستر با کمک فارور جوی و پشته‌هایی با طول ۱۰۰ سانتی‌متر و عرض ۶۰ ایجاد و بذرهای جو رقم ریحان در تاریخ ۱۵ آبان به‌فاصله ۲/۵ سانتی‌متر از یکدیگر و با تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع در دو طرف پشته در هر کرت به‌مساحت سه مترمربع کشت گردید. مایه تلقیح قارچ از بخش علوم و مهندسی خاک دانشگاه شیراز تهیه و به‌روش تله تکثیر گردید (Zarei et al., 2008). برای تلقیح قارچ‌ریشه مقدار پنج گرم از مایه تلقیح قارچ *Funneliformis mosseae* شامل اسپور (۱۰ اسپور در هر گرم بستر)، هیف و قطعات کلونیزه شده (۷۵ درصد) و کلونیزه نشده ریشه‌ای به‌ازای هر بذر در عمق پنج سانتی‌متری از خاک پشته مزرعه قرار داده شد و با خاک زیر مخلوط گردید. در تیمارهای شاهد از بستر بدون قارچ استفاده شد. میزان کود اوره بر حسب آزمون خاک محاسبه و یک سوم آن در زمان کاشت و دو سوم باقی‌مانده در زمان انتهای پنجه‌زنی (ZGS23) اعمال شد. نمک مورد استفاده کلریدسدیم بود و برای هر سطح شوری، میزان مورد نظر (غلظت نمک بر حسب گرم در لیتر آب) تهیه شد. تنش شوری بر اساس تیمارهای مربوطه در مخازن جداگانه تهیه و از مرحله انتهای پنجه‌زنی همراه با آب آبیاری به‌صورت کنترل شده وارد کرت‌ها شد که تا انتهای فصل رشد ادامه داشت (Munns &Termaat, 1986). کنترل علف‌های هرز باریک برگ و پهن برگ در مرحله گیاهچه‌ای با استفاده از علف‌کش آکسیال بر اساس یک لیتر در هکتار و گرانستار به‌میزان ۲۰ گرم در هکتار صورت گرفت.

صفات مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بود. در انتهای فصل رشد، تعداد ۱۰ بوته به‌منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد دانه شامل تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه مورد بررسی قرار گرفت. جهت تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک با رعایت حاشیه، نمونه‌برداری از سطح یک مترمربع هر کرت انجام شده و نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و سپس توزین گردید.

به‌منظور تعیین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از برگ‌های جوان هر تیمار، نمونه‌برداری انجام و در نیتروژن مایع قرار داده شد و تا زمان اندازه‌گیری در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. جهت عصاره‌گیری، ۰/۵ گرم نمونه برگ در نیتروژن مایع کاملاً

ساییده شد، سپس چهار میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم با پ‌هاش هفت و غلظت ۵۰ میلی‌مولار به آن اضافه و در داخل هاون چینی کاملاً هموژنیزه گردید. مخلوط حاصل به‌مدت ۱۵ دقیقه با ۱۳۰۰۰ *g سانتریفیوژ شده و پس از آن فاز بالایی جهت قرائت میزان فعالیت آنزیم‌ها جدا شد و فعالیت آنزیم کاتالاز از روش دهیندزا و همکاران (Dhindsa et al., 1981)، آنزیم پراکسیداز از روش چانس و ماهلی (Chance & Maehly, 1995) و آنزیم سوپراکسیددیسموتاز از روش بیچامپ و فریدوویچ (Beauchamp & Fridovich, 1971) تعیین گردید.

به‌منظور اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم به‌روش هورنک و هانسون (Horneck & Hanson, 1998)، ابتدا نمونه‌های اندام‌هوایی را به‌طور جداگانه در آون کاملاً خشک و آسیاب کرده، سپس از هر نمونه، ۰/۵ گرم جدا کرده و در کوره به‌مدت چهار ساعت در دمای حدود ۵۰۰ درجه سیلسیوس قرار داده تا خاکستر آن‌ها کاملاً سفید شود. پس از سرد شدن نمونه‌ها، به هرکدام پنج میلی‌لیتر اسید-کلریدریک دو نرمال اضافه و خوب به‌هم زده شد. سپس از کاغذ صافی عبور داده و حجم نهایی با آب مقطر در حال جوشیدن به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. نهایتاً غلظت سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (410-Corning flame photometer) اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌های آماری

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 ارتفاع بوته تحت تأثیر هر دو فاکتور و برهم‌کنش دوگانه شوری و قارچ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته (۸۵/۳۳ سانتی‌متر) در برهم‌کنش تلقیح بذر با قارچ‌ریشه و شرایط بدون تنش شوری مشاهده شد که نسبت به تیمار بدون تلقیح و سطح شوری ۱۲ دسی-زیمنس بر متر حدود ۳۸/۴ درصد افزایش یافت (جدول ۳). کاربرد قارچ‌ریشه در بالاترین سطح شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) باعث افزایش ۸/۱ درصدی ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار بدون تلقیح شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که قارچ‌ریشه با تأثیر بر جذب آب و عناصر غذایی افت حاصله از تنش شوری را کاهش می‌دهد. پژوهشگران دریافتندکه با افزایش سطوح شوری و تجمع سدیم و کاهش جذب پتاسیم، مسمومیت و عدم تعادل غذایی در گیاه ایجاد شده و رشد گیاه کاهش می‌یابد (Havlin et al., 2004)، ولی تلقیح گیاه با قارچ‌ریشه در شرایط تنش شوری، اثرات منفی شوری را کاهش و از طریق ایجاد شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح و سرعت جذب، نقش مهمی در افزایش کارایی گیاه در جذب آب و عناصر غذایی داشته که نتیجه آن بهبود رشد و وضعیت تغذیه‌ای مناسب در گیاه است (Smith & Read, 2008).

تعداد سنبله در بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تعداد سنبله در بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شوری و برهم‌کنش شوری و قارچ قرار گرفت (جدول ۲). تعداد سنبله در بوته در تیمار بدون تنش و تلقیح قارچ‌ریشه ۱۶/۳ درصد (۱۱/۶۳ در برابر ۱۰/۰) بیشتر از بدون تلقیح بود (جدول ۳). در تیمار بدون تلقیح، با افزایش شوری از ۰/۴ به ۴، ۸ و ۱۲ دسی-زیمنس بر متر، تعداد سنبله در مترمربع به‌طور معنی‌داری به‌میزان ۱۶/۷، ۳۳/۵ و ۴۶/۷ درصد کاهش یافت. در هر سطح شوری تلقیح با قارچ تعداد سنبله در بوته را افزایش داد، به‌طوری‌که در سطوح ۰/۴، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با تیمار بدون تلقیح به‌میزان ۱۶/۳، ۱۶/۰، ۲۵/۱ و ۹/۴ درصد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). عملکرد و اجزای عملکرد جو نیز متأثر از اعمال مدیریت زراعی، ژنوتیپ و محیط می‌باشد (Moradmand et al., 2010). شوری با کاهش تعداد سنبله در بوته جو و ترتیکاله، نقش مهمی در کاهش عملکرد دارد (Salehi & Moradmand et al., 2010; Arzani, 2011). پژوهشگران بیان کردند که اثرات مثبت هم‌زیستی میکوریزا در رشد رویشی و عملکرد گندم می‌تواند به‌علت بهبود جذب فسفر و افزایش جذب آب به‌وسیله هیفهای قارچی و هم‌چنین افزایش تراکم و طول ریشه گیاه، به‌خصوص در شرایط تنش باشد (Abo-Ghalia & Khalafallah, 2008). در پژوهشی مشخص گردید که گندم تیمار شده با گونه‌های قارچ *گلوموس* از تعداد سنبله در بوته بیشتری برخوردار هستند و بیشترین عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در بوته از تلقیح قارچ *گلوموس موسه‌آ* به‌دست آمد (Habibi et al., 2015)

جدول ۲- آنالیز واریانس (میانگین مربعات) ارتفاع بوته، عملکرد و اجزای عملکرد جو

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for plant height, grain yield and yield components of barley

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	تعداد سنبله در بوته Number of spikes per plant	تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
تکرار Replication	2	2.54	7.62	0.072	0.37	0.71	25201.88	239108.21
شوری Salinity (a)	3	295.16**	6.07	29.81**	35.88	249.58**	907567.46**	1385660.26**
خطا Error	6	2.87	4.35	0.46	0.72	1.13	22030.50	233946.57
قارچ Fungi (b)	1	130.66**	3.37	10.01	20.16**	29.79**	3330708.77**	8486785.33**
شوری × قارچ a × b	3	15.00**	5.72	0.45*	2.05**	0.75**	104954.14**	19466.78**
خطا Error	8	2.79	6.04	0.40	0.17	0.88	88873.97	375118.01
ضریب تغییرات CV (%)		2.31	17.03	7.74	1.45	2.33	5.51	5.18

* و **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد.

*and **: are significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تنش شوری و تلقیح قارچ ریشه *Funneliformis mosseae* بر عملکرد و اجزای عملکرد جو.

fungi inoculation on yield and yield components of barley. Table 3- Mean comparison for effects of salinity stress and *Funneliformis mosseae*

شوری Salinity	قارچ Fungi	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد سنبله در بوته Number of spikes per plant	تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)
0.4	تلقیح شده Inoculated	85.33	11.63	54.00	49.30	6078.0	13105.1
	بدون تلقیح Non-inoculated	76.33	10.00	51.33	47.26	5652.5	11918.5
4	تلقیح شده Inoculated	75.00	9.66	50.33	43.38	6040.0	12336.0
	بدون تلقیح Non-inoculated	72.33	8.33	49.33	40.85	5104.0	11007.0
8	تلقیح شده Inoculated	70.66	8.32	49.00	39.66	5536.0	12172.0
	بدون تلقیح Non-inoculated	68.66	6.65	48.33	36.65	4830.0	11122.0
12	تلقیح شده Inoculated	66.66	5.83	48.33	33.68	5442.8	12012.7
	بدون تلقیح Non-inoculated	61.66	5.33	45.33	32.33	4530.0	10821.0
$LSD_{(0.05)}$		3.14	1.20	0.79	1.77	561.31	1153.2

نشان می‌دهد که سطح معنی‌داری اختلاف میانگین ۰/۰۵ است.

Indicates that the significance level of the mean difference is 0.05.

تعداد دانه در سنبله

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر قارچ و برهم‌کنش دوگانه شوری و قارچ بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بود (جدول ۲). تعداد دانه در سنبله با افزایش شوری یک روند کاهشی را نشان داد و در هر سطح شوری تلقیح با قارچ ریشه تعداد دانه در سنبله را افزایش داد، به‌صورتی که در سطوح شوری ۰/۴، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب از برتری ۵/۲، ۲/۰، ۱/۴ و ۶/۶ درصدی تعداد دانه در سنبله نسبت به بدون تلقیح برخوردار بود (جدول ۳). پژوهشگران نیز گزارش کردند که همزیستی قارچ‌ریشه به‌دلیل افزایش حلالیت فسفر توسط قارچ‌ریشه و در نتیجه، افزایش قابلیت دستیابی ریشه و ماندگاری بیشتر برگ‌ها باعث افزایش تعداد دانه در سنبله در گیاهان زراعی گندم همزیست با *گلوموس موسه‌آ* (Habibi et al., 2015)، افزایش تعداد دانه در هرکپسول کنجد همزیست با *گلوموس موسه‌آ* (Gholinezhad & Darvishzadeh, 2015) و افزایش تعداد دانه در طبق گلرنگ (Raei et al., 2015) شد.

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شوری و قارچ و برهم‌کنش دوتایی آن‌ها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). نتایج نشان داد که با افزایش شوری وزن هزاردانه جو کاهش یافت و در هر سطح شوری تلقیح با قارچ ریشه موجب کاهش افت وزن هزار دانه نسبت به بدون تلقیح شد که در سطوح شوری بالاتر تأثیر تلقیح با قارچ ریشه به‌مراتب بیشتر بود و در بالاترین سطح شوری، تلقیح بذر با قارچ‌ریشه، وزن هزار دانه جو را به‌میزان ۴/۲ درصد (۳۳/۶۸ در برابر ۳۲/۳۳ گرم) نسبت به تیمار تلقیح نشده افزایش داد (جدول ۳). کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش از طریق کوتاه شدن دوره پر شدن دانه و پیری زودرس ایجاد شده که پیش از این نیز توسط پژوهشگران در جو (Mashi et al., 2008)، کلزا (Shabani et al., 2013)، ذرت (Shamsedin-Saeed & Farahbakhsh, 2009) و کوشیا (Sobhani & Majidian, 2014) گزارش شده است. تلقیح قارچ‌ریشه در شرایط تنش شوری از طریق افزایش حلالیت فسفر و قابلیت دسترسی ریشه و ماندگاری بیشتر برگ‌ها باعث افزایش وزن هزار دانه گندم (Habibi et al., 2015) و آفتابگردان (Jamshidi et al., 2009) شد.

عملکرد دانه

اثر شوری و قارچ‌ریشه و نیز برهم‌کنش دوتایی شوری در قارچ ریشه بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش شوری عملکرد دانه جو کاهش یافت و تلقیح با قارچ‌ریشه توانست افت عملکرد را کاهش دهد. به‌طور کلی، بیشترین عملکرد دانه در برهم‌کنش تلقیح با قارچ‌ریشه در شرایط بدون شوری (۶۰۷۸ کیلوگرم درهکتار) و کمترین عملکرد دانه در تیمار بدون تلقیح و سطح ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (۴۵۳۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۳). در شرایط بدون تلقیح قارچ‌ریشه، عملکرد دانه در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد (۰/۴ دسی‌زیمنس بر متر)، ۱۹/۸ درصد (۵۶۵۲/۵ در برابر ۴۵۳۰ کیلوگرم در هکتار) کاهش یافت (جدول ۳). اگرچه تلقیح قارچ ریشه توانست افت عملکرد دانه حاصل از تنش شوری را کاهش دهد، لکن حتی در این شرایط، روند کاهشی در عملکرد دانه با افزایش شوری مشاهده شد که می‌تواند به‌دلیل اثر تنش یونی و نیز اسمزی نمک محلول در خاک بر مهارکنندگی رشد ریسه قارچ باشد. نتایج همبستگی نشان داد که رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (r= ۰/۸۲**)، غلظت پتاسیم و (r=۰/۷۵**) و نسبت پتاسیم به سدیم (r=۰/۸۶**) وجود داشت (جدول ۶). این نتایج با مشاهدات سایر محققین مطابقت داشت (Fayaz & Zahedi, 2021).

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک جو به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی و برهم‌کنش شوری و قارچ‌ریشه در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). افزایش شوری باعث کاهش عملکرد بیولوژیک جو شد، به‌طوری‌که عملکرد بیولوژیک در تیمار بدون تلقیح و در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد (۰/۴ دسی‌زیمنس بر متر)، ۱۰/۱ درصد کاهش یافت (جدول ۳). کاربرد قارچ‌ریشه در سطوح ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر با کاهش اثرات سوء تنش شوری توانست به ترتیب باعث افزایش ۱۲/۱، ۹/۴ و ۱۱/۰ درصدی عملکرد بیولوژیک در مقایسه با تیمار بدون تلقیح شود (جدول ۳). بررسی تغییرات عملکرد بیولوژیک راهکاری پایدار در روند بررسی واکنش گیاهان به تنش شوری است، زیرا اثر نهایی مجموعه عوامل فیزیولوژیکی که متأثر از شوری هستند، در وزن خشک اندام‌هوایی بروز می‌یابد (Farhoudi & Motamedi, 2017).

جدول ٤- آنالیز واریانس (میانگین مربعات) فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، غلظت‌های سدیم و پتاسیم اندام‌هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم جو

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for antioxidant enzymes activity, Na^+ and K^+ concentrations of shoot and K^+/Na^+ ratio of barley

منابع تغییر .S.O.V	درجه آزادی d.f	فعالیت پراکسیداز POD activity	فعالیت کاتالاز CAT activity	فعالیت سوپراکسیددیسموتاز SOD activity	غلظت پتاسیم اندام‌هوایی K^+ concentration of shoot	غلظت سدیم اندام‌هوایی Na^+ concentration of shoot	نسبت پتاسیم به سدیم K^+/Na^+ ratio
تکرار Replication	2	0.18	32.21	0.0000042	0.33	0.16	0.49
شوری Salinity (a)	3	0.48	2629.82**	0.0000731**	49.34*	3.08*	13.73**
بلوک × شوری a × block	6	0.50	51.43	0.0000485	5.93	0.75	2.03
قارچ Fungi (b)	1	0.49	0.37	0.0000015	38.03**	3.61*	20.48**
شوری × قارچ a × b	3	0.37	1433.20**	0.0000601**	20.41*	2.00*	2.47**
خطا Error	8	0.63	158.79	0.0000322	3.80	0.58	1.57
ضریب تغییرات CV (%)		18.09	17.71	14.20	13.40	13.00	15.88

* و **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد.

*and **: are significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تنش شوری و تلقیح قارچ ریشه *Funneliformis mosseae* بر برخی صفات بیوشیمیایی جو

Table 5- Mean comparison for effects of salinity stress and *Funneliformis mosseae* fungi inoculation on some biochemical traits of barley

شوری Salinity	قارچ Fungi	فعالیت کاتالاز CAT activity (Ug^{-1} FW)	فعالیت سوپراکسیددیسموتاز SOD activity (Ug^{-1} FW)	غلظت پتاسیم اندام‌هوایی K^+ concentration of shoot ($mg.g^{-1}$)	غلظت سدیم اندام‌هوایی Na^+ concentration of shoot ($mg.g^{-1}$)	نسبت پتاسیم به سدیم K^+/Na^+ ratio
0.4	تلقیح شده Inoculated	27.48	0.0409	18.22	2.37	7.68
	بدون تلقیح Non-inoculated	3.33	0.0316	17.83	3.08	5.78
4	تلقیح شده Inoculated	75.66	0.0429	17.82	2.89	6.16
	بدون تلقیح Non-inoculated	51.29	0.0349	16.39	3.12	5.25
8	تلقیح شده Inoculated	58.95	0.0421	12.98	3.11	4.17
	بدون تلقیح Non-inoculated	49.40	0.0407	11.57	3.35	3.45
12	تلقیح شده Inoculated	50.69	0.0444	12.20	3.16	3.86
	بدون تلقیح Non-inoculated	46.93	0.0420	9.33	5.56	1.67
$LSD_{(0.05)}$		13.72	0.0107	1.07	0.44	0.86

نشان می‌دهد که سطح معنی‌داری اختلاف میانگین ۰/۰۵ است.

Indicates that the significance level of the mean difference is 0.05.

پژوهشگران گزارش کردند که یون‌های سدیم و کلر در غلظت‌های بالای نمک باعث مسمومیت گیاه شده و فعالیت فتوسنتزی را مختل می‌نمایند. از این جهت، مواد غذایی لازم جهت رشد و نمو سلول‌ها فراهم نشده و رشد به‌کندی صورت می‌گیرد (Jabbarzadeh et al., 2009).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

نتایج نشان داد که اثر برهم‌کنش شوری و قارچ به‌طور معنی‌داری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (به‌جز پراکسیداز) را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۴). تلقیح قارچ‌ریشه در مقایسه با تیمار بدون تلقیح باعث افزایش معنی‌دار ۱۹/۳، ۴۷/۵ و ۸/۰ درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز به‌ترتیب در سطوح شوری ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر شد (جدول ۵). همچنین، مشخص شد که با افزایش سطوح شوری میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز روند افزایشی داشت و بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (۰/۰۴۰۹ واحد بر میلی‌گرم وزن تر) در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار تلقیح با قارچ‌ریشه مشاهده شد (جدول ۵). افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز جهت مقابله با گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش (Bothe, 2012)، در سویا (Porcel et al., 2003)، ذرت (Sajedi et al., 2010) و ماش (Khan et al., 1997) تلقیح شده با گونه *گلوموس موسه‌آ* پیش از نیز گزارش شده است.

غلظت پتاسیم و سدیم اندام‌هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی شوری و قارچ و برهم‌کنش آن‌ها بر غلظت‌های پتاسیم، سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). افزایش غلظت شوری از ۰/۴ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در تیمار بدون تلقیح باعث کاهش ۴۷/۷ درصدی غلظت پتاسیم شد (جدول ۵). کاربرد قارچ با افزایش دسترسی گیاه به پتاسیم در مقایسه با تیمار بدون تلقیح باعث افزایش غلظت پتاسیم بافت گیاهی در سطوح شوری ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب به‌میزان ۸/۷، ۱۲/۲ و ۳۰/۸ درصد شد (جدول ۵). بیشترین غلظت پتاسیم (۱۸/۲ میلی‌گرم در گرم) در تیمار بدون تنش شوری و تلقیح با قارچ‌ریشه به‌دست آمد (جدول ۵). پتاسیم نقش کلیدی در متابولیسم گیاهی داشته و با اثر بر روی فعالیت تعدادی از آنزیم‌ها، باز و بسته شدن روزنه‌ها و سنتز پروتئین نقش خود را ایفا می‌کند (Giri et al., 2007). تنش شوری از طریق ایجاد رقابت بین سدیم و پتاسیم برای اتصال به بسیاری از مکان‌های متنوع سلولی، میزان جذب سدیم را افزایش و در نتیجه، جذب پتاسیم را کاهش می‌دهد (Zamani et al., 2011). تلقیح بذر با قارچ از طریق هم‌افزایی دو عنصر فسفر و پتاسیم در زمان تلقیح، از طریق افزایش جذب فسفر، جذب پتاسیم را نیز افزایش می‌دهد (Gholamhoseini et al., 2013). پژوهشگران گزارش کردند که قارچ میکوریزا از طریق تعدیل اثرات مخرب تنش شوری، نقش مؤثری در افزایش جذب پتاسیم داشته و انتقال سدیم به اندام‌هوایی را کاهش می‌دهد (Giri et al., 2007).

بیشترین غلظت سدیم (۵/۶ میلی‌گرم در گرم) در تیمار بدون تلقیح و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد (جدول ۵). این در حالی است که تلقیح بذر با قارچ‌ریشه در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش ۴۳/۲ درصدی غلظت سدیم شد (جدول ۵). تلقیح بذر با قارچ‌ریشه از طریق افزایش غلظت پتاسیم و کاهش غلظت سدیم توانست نسبت پتاسیم به سدیم را در تمام سطوح شوری افزاش دهد (جدول ۵). بالاترین نسبت پتاسیم به سدیم (۷/۷) در تیمار تلقیح با قارچ‌ریشه و شوری ۰/۴ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد (جدول ۵). بطور کلی، تلقیح بذر با قارچ‌ریشه در بالاترین غلظت شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) باعث افزایش نسبت پتاسیم به سدیم به‌میزان ۱۳۱/۱ درصد در مقایسه با تیمار بدون تلقیح شد (جدول ۵). کاربرد قارچ ریشه از طریق کاهش اثرات سوء تنش شوری و جلوگیری از جذب و انتقال یون سدیم به اندام‌هوایی و همچنین، اثر بر بالانس یونی سیتوپلاسم و خروج یون سدیم از سلول، نقشی مؤثر در افزایش نسبت پتاسیم به سدیم بافت گیاهی داشت (Fayaz & Zahedi, 2021).

جدول ٦- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و صفات بیوشیمیایی جو در شرایط تنش شوری

Table 6- Correlation coefficients between grain yield and biochemical traits of barley under salinity stress conditions

	عملکرد دانه Grain yield	فعالیت آنزیم سوپر-اکسیددیسموتاز Activity SOD	غلظت پتاسیم اندام هوایی K^+ concentration of shoot	غلظت سدیم اندام هوایی Na^+ concentration of shoot	نسبت پتاسیم به سدیم K^+/Na^+ ratio
عملکرد دانه Grain yield	1				
فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز SOD activity	0.82**	1			
غلظت پتاسیم اندام‌هوایی K^+ concentration of shoot	0.75**	0.08	1		
غلظت سدیم اندام‌هوایی Na^+ concentration of shoot	-0.46**	-0.33*	-0.10	1	
نسبت پتاسیم به سدیم K^+/Na^+ ratio	0.86**	0.17ns	0.63**	-0.68**	1

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

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

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش سطوح شوری ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، طول سنبله، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در گیاه جو به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. تلقیح بذر با قارچ‌ریشه از طریق افزایش نسبت پتاسیم به سدیم و کاهش غلظت سدیم در مقایسه با بدون تلقیح توانست با تخفیف اثر تنش شوری، عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد قارچ‌ریشه به‌عنوان یک روش بیولوژیکی نقش مهمی در افزایش تحمل به شوری جو، از طریق بهبود سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی و ایجاد تعادل یونی داشت.

References

1. Abd El-Ghany, M.F., & Attia, M. (2020). Effect of exopolysaccharide-producing bacteria and melatonin on faba bean production in saline and non-saline soil. *Agronomy*, *10*(3), 316-325. https://doi.org/10.3390/agronomy10030316
2. Abdel-Fattah, G.M., & Asrar, A.W.A. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungal application to improve growth and tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants grown in saline soil. *Acta Physiologiae Plantarum*, *34*(1), 267-277. https://doi.org/10.1007/s11738-011-0825-6
3. Abo-Ghalia, H.H., & Khalafallah, A.A. (2008). Responses of wheat plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi to short-term water stress followed by recovery at three growth stages. *Journal of Applied Sciences Research*, *4*, 570-580.
4. Ahadi, S., Maroufi, A., Bahramnejad, B., & Siosemardeh, A. (2022). Effect of salinity stress and application of salisylic acid on expression of TaSC and TaNIP genes in two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Iranian *Journal of Crop Sciences*, *24*(1), 50-63. (In Persian with English Summary)
5. Al-Karaki, G., McMichael, B.Z.A.K.J., & Zak, J. (2004). Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*, *14*(4), 263-269. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.02.020
6. Banaei, M.H., Moameni, A., Baybordi, M., & Malakouti, M.J. (2004). Iran Soils: New transformations in the identification, management and operation. Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran. (in Persian)
7. Beauchamp, C., & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, *44*(1), 276-287. https://doi.org/10.1016/0003-2697(71)90370-8
8. Behl, R.K., Sharma, H., Kumar, V., & Singh, K.P. (2003). Effect of dual inoculation of VA mycorrhiza and *Azotobacter chroococcum* on above flag leaf characters in wheat. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *49*(1), 25-31. https://doi.org/10.1080/03650340301497
9. Borzouei, A., Kafi, M., Khazaei, H.R., & Shalmani, M.M. (2012). Effect of irrigation water salinity on root traits

of two salt-sensitive and salt-tolerant wheat cultivars and its relationship with yield in greenhouse. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, *2*(8), 95-107. (In Persian with English Summary)

10. Bothe, H. (2012). Arbuscular mycorrhiza and salt tolerance of plants. *Symbiosis*, *58*(1-3), 7-16.
11. Chance, B., & Maehly, A.C. (1995). Assay of catalase and peroxidase. *Methods Enzymology*, *2*, 764-765. https://doi.org/10.1002/9780470110171.ch14
12. Colmer, T.D., Munns, R., & Flowers, T.J. (2006). Improving salt tolerance of wheat and barley: Future prospects. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, *45*(11), 1425-1443. https://doi.org/10.1071/EA04162
13. Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa, P., & Thorpe, T.A. (1981). Leaf senescence: Correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, *32*(1), 93-101. https://doi.org/10.1093/jxb/32.1.93
14. Farhoudi, R., & Motamedi, M. (2017). Assessing physiological characteristics and dry matter of two mung bean genotypes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *27*(3), 73-86. ((In Persian with English Summary))
15. Fayaz, F., & Zahedi, M. (2021). Beneficial effects of arbuscular mycorrhizal fungi on wheat (*Triticum aestivum* L.) nutritional status and tolerance indices under soil salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, *45*(2), 185-201. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1952228
16. Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). The FAOSTAT Database. Available at Web site http://faostat.fao.org/default.aspx (verified 21 May 2022).
17. Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E., & Khodaei-Joghan, A. (2013). Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. *Agricultural Water Management*, *117*, 106-114. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.007
18. Gholinezhad, E., & Darvishzadeh, R. (2015). Effect of mycorrhizal fungi on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces under different irrigation levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *25*(3), 119-135. (in Persian) https://doi.org/10.22067/GSC.V15I1.49403
19. Giri, B., & Mukerji, K.G. (2004). Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptica* and *Sesbania gradiflora* under field condition: Evidenced for reduced sodium and improved magnesium uptake. *Mycorrhizal*, *14*, 307-312. https://doi.org/10.1007/s00572-003-0274-1
20. Giri, B., Kapoor, R., & Mukerji, K.G. (2007). Improved tolerance of *Acacia nilotica* to salt stress by arbuscular mycorrhiza, *Glomus fasciculatum* may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues. *Microbial Ecology*, *54*, 753–760. https://doi.org/10.1007/s00248-007-9239-9
21. Habibi, S., Meskarbashee, M., & Farzaneh, M. (2015). Effect of mycorrhizal fungus (*Glomus* spp.) on wheat (*Triticum aestivum*). yield and yield components with regard to irrigation water quality. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *13*(3), 471-484. (In Persian with English Summary) ,https://doi.org/10.22067/GSC.V13I3.51155
22. Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., & Nelson, W.L. (2004). Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. (7th Ed.). Pretice Hall, New Jersey.
23. Horneck, D.A., & Hanson, D. (1997). Determination of potassium and sodium by flame emission spectrophotometry. In Y. Kalra (Ed.). Handbook of reference methods for plant analysis. CRC Press, USA. p. 158-160.
24. Hosseini, E., Zarei, M., Sepehri, M., & Safarzadeh, S. (2021). Do bagasse biochar and microbial inoculants positively affect barley grain yield and nutrients, and microbial activity?. *Journal of Plant Nutrition*, *45*(4), 522-539. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1952229
25. Huang, Z., He, C.X., He, Z.Q., Zou, Z.R., & Zhang, Z.B. (2010). The effects of arbuscular mycorrhizal fungi on reactive oxyradical scavenging system of tomato under salt tolerance. *Agricultural Sciences in China*, *9*(8), 1150-1159. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60202-9
26. Jabbarzadeh, Z., Khosh-Khui, M., & Salehi, H. (2009). The effect of foliar-applied salicylic acid on flowering of African violet. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *3*(4), 4693-4696.
27. 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*(2), 136-150. ((In Persian with English Summary))

28. Jerbi, M., Labidi, S., Laruelle, F., Tisserant, B., Dalpé, Y., Lounès-Hadj Sahraoui, A., & Ben Jeddi, F. (2022b). Contribution of native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi in improving the physiological and biochemical response of Hulless barley (*Hordeum vulgare* ssp. *nudum* L.) to drought. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *22*, 2187–2204. https://doi.org/10.1007/s42729-022-00802-2
29. Jerbi, M., Labidi, S., Laruelle, F., Tisserant, B., Jeddi, F.B., & Sahraoui, A.L.H. (2022a). Mycorrhizal biofertilization improves grain yield and quality of hulless barley (*Hordeum vulgare* ssp. *nudum* L.) under water stress conditions. *Journal of Cereal Science*, *104*, 103436. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103436
30. Khajehpour, M.R. (2014). Cereal crops. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (in Persian)
31. Khan, M.S.A., Hamid, A., & Karim, M.A. (1997). Effect of sodium chloride on germination and seedling characteristics of different types of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, *179*(3), 163-169. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1997.tb00512.x
32. Maas, E.V., & Hoffman, G.J. (1977). Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, *103*(2), 115-134. https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0001137
33. Mahlooji, M. (2022). Effects of salinity stress and zinc application on some physiological traits in grain filling of three barley cultivars. *Journal of Plant Process and Function*, *11*(48), 211-227. ((In Persian with English Summary)) http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1573-en.html
34. Mashi, A., Galeshi, S., Zainali, E., & Noorinia, A. (2008). Salinity effect on seed yield and yield components in four Hull-les barley. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, *14*(5), 363-373.
35. Moradmand, M., Naderi, M., Mahlooji, M., & Rostami, A. (2010). Comparison of elite barley lines and cultivars under water saline condition in Isfahan region. *New Finding in Agriculture*, *4*(2), 179-191. ((In Persian with English Summary))
36. Munns, R., & Termaat, A. (1986). Whole-plant responses to salinity. *Functional Plant Biology*, *13*(1), 143-160. https://doi.org/10.1071/PP9860143
37. Mustafa, G., Akhtar, M.S., & Abdullah, R. (2019). Global concern for salinity on various agro-ecosystems. In M. Akhtar, (Ed.). Salt stress, microbes, and plant interactions: Causes and solution. Springer, Singapore. p. 1-19.
38. Porcel, R., Barea, J.M., & Ruiz-Lozano, J.M. (2003). Antioxidant activities in mycorrhizal soybean plants under drought stress and their possible relationship to the process of nodule senescence. *New Phytologist*, *157*(1), 135-143. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00658.x
39. Raei, Y., Shariati, J., & Weisany, W. (2015). Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different irrigation levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *25*(1), 65-84. ((In Persian with English Summary))
40. Ranjbar, G.H., Pirasteh, A.H., Emam, Y., & Hosseinzadeh, S.H. (2013). Effect of salinity on different growth stages of wheat, cv. Roshan. *Crop Production in Environmental Stress*, *5*(1), 23-31. ((In Persian with English Summary))
41. Saadeghi-Azar, L., Madah Hoseini, S., Rahimi, A., & Mohammadi Mirik, A.A. (2013). Effect of salinity stress on some germination and vegetative growth indices of lentil genotypes. *Journal of Crops Improvement*, *15*(4), 107-117. ((In Persian with English Summary)) https://doi.org/10.22059/jci.2013.51370
42. Sajedi, N.A., Ardakani, M.R., Rejali, F., Mohabbati, F., & Miransari, M. (2010). Yield and yield components of hybrid corn (*Zea mays* L.) as affected by mycorrhizal symbiosis and zinc sulfate under drought stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *16*(4), 343-351. https://doi.org/10.1007/s12298-010-0035-5
43. Salehi, M., & Arzani, A. (2011). Effect of salinity stress on morpho-physiological traits of triticale lines. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *13*(4), 697-711. ((In Persian with English Summary))
44. Saxena, J., Chandra, S., & Nain, L. (2013). Synergistic effect of phosphate solubilizing rhizobacteria and arbuscular mycorrhiza on growth and yield of wheat plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *13*(2),

511-525. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000040

45. Shabani, A., Sepaskhah, A.R., & Kamgar, H.A. (2013). Responses of agronomic components of rapeseed (*Brassica napus* L.) as influenced by deficit irrigation, water salinity and planting method. *International Journal of Plant Production*, *7*(2), 313-340. ((In Persian with English Summary))
46. Smith, S.E., & Read, D.J. (2008). Mycorrhizal Symbiosis. (3th ed.). Academic, London.
47. Sobhani, M., & Majidian, M. (2014). Evaluation of different salinity stress and plant densities effects on quantitative and qualitative forage and grain yields of kochia in Arak region. *Journal of Plant Production Research*, *21*(1), 91-110. ((In Persian with English Summary))
48. Surendran, U., & Vani, D. (2013). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi in sugarcane productivity under semiarid tropical agroecosystem in India. *International Journal of Plant Production*, *7*(2), 269-277. https://doi.org/10.22069/IJPP.2012.986
49. Vashev, B., Gaiser, T., Ghawana, T., de Vries, A., & Stahr, K. (2010). Biosafor Project Deliv- erable 9: Cropping Potentials for Saline Areas in India, Pakistan and Bangladesh. University of Hohenheim, Hohenheim, Germany.
50. Walia, H., Wilson, C., Wahid, A., Condamine, P., Cui, X., & Close, T.J. (2006). Expression analysis of barley (*Hordeum vulgare* L.) during salinity stress. *Functional and Integrative Genomics*, *6*(2), 143. https://doi.org/10.1007/s10142-005-0013-0
51. Wang, J., Yuan, J., Ren, Q., Zhang, B., Zhang, J., Huang, R., & Wang, G.G. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi enhanced salt tolerance of *Gleditsia sinensis* by modulating antioxidant activity, ion balance and P/N ratio. *Plant Growth Regulation*, *97*(1), 33-49. https://doi.org/10.1007/s10725-021-00792-8
52. Yadav, N.S., Shukla, P., Jha, A.K., Agarwal, P., & Jha, B. (2012). The *SbSOS1* gene from the extreme halophyte *Salicornia brachiata* enhances Na^+ loading in xylem and confers salt tolerance in transgenic tobacco. *BMC Plant Biology*, *12*(1), 188. https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-188
53. Zamani, S., Neza, M. T., Bybordi, A., Behdad, M., Behdad, M., & Khorshidi, B. (2011). Effect of different NaCl salinity on antioxidant enzyme activity and relative water in winter canola (*Brassica napus* L.). *Agricultural Science Research*, *7*, 49-57.
54. Zarei, M., Saleh-Rastin, N., Jouzani, G.S., Savaghebi, G., & Buscot, F. (2008). Arbuscular mycorrhizal abundance in contaminated soils around a zinc and lead deposit. *European Journal of Soil Biology*, *44*(4), 381-391. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.06.004

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

Research Article
Vol. 16, No. 1, 2024, p. 63-80

The Effects of Climate Change on Yield and Phenological Stages of Potato Plant (Case Study: South of Kerman Province)

Fateme Bayatani[1] and Keramat Nezhadafzali[2*]

1- Ph.D, Department of Geography, Faculty of Literature, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Literature and Human Sciences, Jiroft University, Jiroft, Iran.
(*- Corresponding author's Email: k.nezhadafzali@ujiroft.ac.ir)

Received: 05-06-2022
Revised: 09-01-2023
Accepted: 18-03-2023
Available Online: 18-03-2023

How to cite this article:
Bayatani, F., & Nezhadafzali, K. (2024). The Effects of Climate Change on Yield and Phenological Stages of Potato Plant (Case Study: South of Kerman Province). *Journal of Agroecology, 16*(1), 63-80. (In Persian with English abstract).
https://doi.org/10.22067/agry.2023.77055.1116

Introduction

Food security is one of the most important concerns of human society. Given the importance of climate for the agricultural sector, achieving long-term climate forecasts in this area is essential. The advent of global climate (GCM) and regional models (RCM) has made it possible for researchers to study the impact of climate on agricultural products. Predicted climate change, especially the increase in atmospheric carbon dioxide and temperature, as well as changes in the amount and patterns of rainfall, will have severe effects on agricultural production and food security, especially in arid and semi-arid regions. Therefore, any change in the world climate, directly affects the production of agricultural products in different parts of the world and, consequently, the issue of food security in the world. This study was conducted to investigate the effects of climate change on yield and length of phenological stages of potato plant in tropical and subtropical regions of Kerman province.

Materials and Methods

The study area in this research includes stations with a statistical period of 17 years (1989 to 2005), including Jiroft, Kahnooj, and Manojan. In this study, maximum and minimum temperature data, precipitation, average relative humidity, average wind speed, and sunny hours on a daily time scale were used for the exponential microscale. From the output of the CanESM2 general circulation model was used under the three scenarios rcp2.6, rcp4.5, and rcp8.5. The SDSM microscale model was used to exponentially scale the output of the general circulation model. In order to prepare field data for calibration and to determine the validity of the WOFOST model in potential conditions, data from research projects of Jiroft Agricultural Research Center during 2010-2011 were collected and used as a basic course. This information includes planting date, phenological stages from planting to emergence, emergence to flowering, and emergence to physiological maturity of the potato plant in the study areas.

Results and Discussion

The results of WOFOST model validation for phenological stages and potato yield provided acceptable

©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.2023.77055.1116

estimates for both variables. The ability of the SDSM model to simulate meteorological parameters was confirmed, however, the model showed less accuracy in simulating precipitation. The simulated maximum and minimum temperatures for the next period (2011-2100) under RCP scenarios increased compared to the observation period in all three RCP scenarios. Precipitation has also will change in future periods in all three scenarios and show a declining trend. Combining the results of the CanESM2 climate model under RCP scenarios in three climate periods 2011-2041, 2041-2070 and 2071-2100 with the WOFOST growth simulation model showed that the length of different phenological stages and potato tuber yield under potential conditions will be reduced in the study areas. The stage of germination to the physiological maturation of the tubers, due to its longer duration, the greatest reduction in the length of the period occurred in this stage. The results of potato tuber yield simulation showed a decrease in yield in the study areas. According to the results, the highest reduction in performance was observed in the third period (2071-2100). The percentage of glandular function reduction was observed on average between 2 and 4.3%. In general, the results showed an increase in the average minimum and maximum temperatures of 0.37 to 0.9 degrees Celsius over the next three periods. The length of the phenological stages of the potato plant from emergence to physiological maturity has decreased in parallel with the increase in the mean minimum and maximum temperatures. The reduction in the length of the germination stage is between 0.2 to 1.9 days, the flowering stage is between 0.5 to 1.7 days, and the maturation stage to maturity is between 1.4 to 3.5 days. The greatest reduction during the phenological stages is related to the emergence stage to maturity of 3.5 days.

Conclusion

In general, the results of this study indicate an increase in the negative effects of climate change on the potato plant in three stations of Jiroft, Kahnooj, and Manojan. As the temperature rises and the rainfall decreases, and naturally, the length of the growing season and the yield of potatoes decrease, the amount of damage in future climates will increase. Generally, for one degree Celsius increase in average annual temperature, tuber yield will decrease by 4.99%.

Keywords: General Circulation Model, Exponential Microscale, WOFOST Model, Phenological Stages of Potato, South of Kerman Province

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص ۸۰-۶۳

اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد و مراحل فنولوژیکی گیاه سیب‌زمینی (مطالعه موردی: جنوب استان کرمان)

فاطمه بیاتانی[۱] و کرامت نژادافضلی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۷

چکیده

سیب‌زمینی از محصولات مهم زراعی است که به‌عنوان یک محصول استراتژیک در تأمین امنیت غذایی در آینده شناخته شده است. با توجه به پدیده گرمایش جهانی و تحت تأثیر قرار دادن تولیدات محصولات کشاورزی، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تولید سیب‌زمینی در کشور ضروری می‌باشد. بدین منظور، از داده‌های مدل اقلیمی CanESM2، تحت سناریوهای انتشار RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری استان کرمان، استفاده گردید. از مدل آماری SDSM، برای ریزمقیاس نمایی خروجی مدل CanESM2، و از مدل WOFOST به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد غده و مراحل فنولوژیکی سیب‌زمینی استفاده شد. در این مطالعه، مدل WOFOST با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای سال-های ۸۹، ۹۰ و ۹۲ کالیبراسیون و با داده‌های سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ تعیین اعتبار گردید. نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های آماری، نشان از دقت بالای مدل SDSM و مدل WOFOST و مطابقت نتایج کالیبراسیون و تعیین اعتبار با داده‌های دیدبانی بود. میانگین مربعات خطا در دو مدل SDSM و WOFAST در مراحل کالیبراسیون و صحت‌سنجی به‌ترتیب ۰/۸ و ۷/۴ درصد تجاوز نکرده و در محدوده عالی قرار داشت. ۸۷ درصد مراحل فنولوژیک و بالای ۹۰ درصد عملکرد غده سیب‌زمینی، در اطراف خط استاندار (±SE) مراحل فنولوژیک و عملکرد دیده‌بانی شده قرار داشت. نتایج شبیه‌سازی در مناطق مورد مطالعه تحت سناریوهای RCP نشان‌دهنده افزایش دمای کمینه در محدوده ۰٫۳ تا ۱٫۳ درجه سلسیوس، دمای بیشینه در محدوده ۰٫۳ تا ۱٫۲ درجه سلسیوس و کاهش بارش در محدوده ۶/۴- تا ۳۷/۶- میلیمتر خواهد بود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی عملکرد غده و مراحل فنولوژیکی سیب‌زمینی در دوره آینده توسط مدل WOFOST، بیانگر کاهش عملکرد سیب‌زمینی به‌میزان ۰/۸- تا ۶/۳- درصد بود. میانگین حداکثر کاهش طول رشد با ۳/۵- روز در سناریوی RCP8.5 مربوط به مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی (برداشت) بود. همچنین نتایج نشان داد که به‌ازای هر یک درجه سلسیوس افزایش میانگین دما سالانه، عملکرد غده به‌میزان ۴/۹۹ درصد کاهش خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: ریزمقیاس نمایی، مدل گردش عمومی، مدل WOFOST، مراحل فنولوژیکی سیب‌زمینی

مقدمه

پدیده تغییر آب و هوا به‌عنوان یکی از چالش‌های مهم قرن حاضر در سطح دنیا شناخته شده است. تغییرات آب و هوایی و عواقب و آثار آن از ابعاد اجتماعی-اقتصادی، زیست محیطی، سیاسی و امنیتی دارای اهمیت خاص می‌باشد و در ابعاد ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی باید مورد توجه قرار گیرد. بخش کشاورزی به‌سبب تعاملات گسترده و مستقیم با محیط، بیشترین تأثیر را از پدیده تغییر اقلیم می‌پذیرد، و به تغییرات آب و هوایی و پدیده‌های خاص مانند خشکسالی، سیلاب‌ها و طوفان‌های شدید حساس است. ممکن است افزایش دما نقش مثبتی در تولید غذا داشته باشد، امّا افزایش پتانسیل خشکسالی، سیل و امواج گرمایی، چالش کشاورزان را افزایش خواهد داد (Banihashemi,

۱- دکتری، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
۲- استادیار، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: k.nezhadafzali@ujiroft.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2023.77055.1116

2012). در صورتی‌که اقدامات مناسبی در جهت کاهش اثرات تغییر اقلیم و سازگاری با آن صورت نگیرد، این پدیده می‌تواند بخش عمده‌ای از جهان، از جمله کشاورزی و منابع آب را تحت تأثیر قرار دهد (Taei Samiromi et al., 2014). بنابراین، هر گونه تغییر در وضعیت آب و هوای جهان، به‌طور مستقیم در تولید محصولات کشاورزی مناطق مختلف دنیا و در نتیجه بر موضوع تأمین امنیت غذایی در سطح جهان تاثیرگذار است.

امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های جامعه بشری است و پیش بینی می‌شود با رشد جمعیت، برای تأمین مواد غذایی مورد نیاز جامعه جهانی در سال ۲۰۵۰ میلادی، تولید مواد غذایی حدود ۷۰ درصد افزایش یابد (Dalghandi et al., 2014). تغییرات پیش بینی شده اقلیمی به‌ویژه افزایش میزان دی اکسید کربن اتمسفر، درجه حرارت و نیز تغییر در میزان و الگوهای بارندگی اثرات شدیدی بر تولید محصولات کشاورزی و امنیت غذایی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک خواهد داشت. اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک از یک طرف، به‌دلیل ساختار اکولوژیکی خاص خود بیش از سایر اقلیم‌ها نسبت به تغییرات محیطی حساس بوده و آسیب‌پذیری بیشتری دارند. از طرف دیگر، همانطور که آشکار است از مفاد بارز و آشکار پدیده تغییر اقلیم در بخش کشاورزی، تأثیر در اکوسیستم‌های طبیعی و فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد (Bayatani, 2019). بنابراین، به نظر می‌رسد که وقوع تغییرات احتمالی اقلیمی در این مناطق اثرات قابل ملاحظه‌ای بر سیستم‌های تولید کشاورزی به همراه داشته باشد (Turkaman, 2016).

علی رغم تلاش‌های بسیار زیاد اقلیم شناسان، هنوز عدم قطعیت‌های قابل توجهی در مورد اثرات بالقوه تغییر اقلیم در بخش کشاورزی وجود دارد (Gouache et al., 2012). با این وجود، تغییر اقلیم بر تغییر فنولوژی و فیزیولوژی گیاه، بیلان آب در خاک، تبخیر و تعرق و بارندگی مؤثر بر رشد، عملکرد و نیاز آبی گیاهان تأثیر دارد (Darzi Naftchali & Karandish, 2016). بر اساس تحقیقات صورت گرفته افزایش غلظت دی اکسید کربن اتمسفر سبب افزایش عملکرد گیاهان C3 مانند گندم، برنج و سویا شده و سبب افزایش عملکرد اندکی در گیاهان C4 مانند ذرت، سورگوم و نیشکر می‌شود (Ficher et al., 2007).

سیب‌زمینی (potato) گیاهی است یک ساله از تیره Solanaceae با نام علمی (*Solanum tubresum* L.) که اندام اقتصادی آن ساقه زیرزمینی می‌باشد (Khajehpour, 2008). سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) پس از گندم (*Triticum* L.)، برنج (*Oryza sativa*.L) و ذرت (*Zea mays* L.)، چهارمین محصول در سبد غذایی جوامع بشری است (FAO, 2012)، که نشان از اهمیت نقش آن در تأمین پروتئین و نیازهای غذایی مردم دارد. سازمان خواروبار و کشاورزی-جهانی، سیب‌زمینی را یک محصول تامین‌کننده امنیت غذایی آینده در دنیا معرفی نموده و کشور ایران با داشتن اقلیمی متنوع و با تولید سالانه پنج میلیون تن سیب‌زمینی در رتبه سیزدهم تولید این محصول در جهان قرار دارد (FAO, 2019). سیب‌زمینی از نظر توازن پروتئین در غده‌ها، دارا بودن اسیدهای آمینه مهم سازنده پروتئین، ویتامین‌ها و مواد معدنی در تغذیه دارای اهمیت ویژه می‌باشد. برخی از تغییرات رخ داده در دوره رشد گیاهی در مقابل تغییر شرایط اقلیمی، در مقیاس محلی و منطقه‌ای قابل مشاهده است.

طبق مطالعات و تحقیقات انجام شده، تأثیر افزایش غلظت دی اکسید کربن اتمسفر و تغییرات آب و هوایی همراه با آن بر گیاهان زراعی کاملا به شرایط محیطی بستگی دارد و ممکن است از محلی به محل دیگر تفاوت کند. از طرف دیگر، مدل‌های گیاهی از جمله مدل WOFOST به‌دلیل دقت بالا در شبیه سازی ابزار مناسبی جهت پیش بینی عملکرد محصول در شرایط تغییر اقلیم است. هدف از این مطالعه بررسی اثر گرمایش جهانی از طریق کاربرد مدل گردش کلی CanESM2[1] بر اساس سناریوهای انتشار RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 و مدل شبیه‌ساز رشد و نمو WOFOST[2] در شرایط اقلیمی جنوب استان کرمان جهت شبیه سازی مراحل فنولوژی و عملکرد محصول سیب‌زمینی در شرایط پتانسیل می‌باشد. بنابراین، با توجه به اهمیت وضع هوا و اقلیم بر بخش کشاورزی، دستیابی به پیش‌بینی‌های بلند مدت اقلیمی در این بخش ضروری است (Bayatani, 2019). پیدایش مدل‌های اقلیم جهانی (GCM[3]) و منطقه‌ای (RCM[4]) این امکان را به‌وجود آورده است تا محققان بتوانند تأثیر وضع هوا و اقلیم را در مقیاس‌های زمانی بلند مدت بر محصولات مختلف کشاورزی بررسی نمایند (Esmaili et al., 2011).

با توجه به اهمیت گیاه سیب‌زمینی در جیره غذایی بشر و تاثیر

1- Canadian Earth System Model
2- World Food Studies.
3- General circulation model.
4- Regional climate model.

پذیری آن از شرایط اقلیمی و محیطی بخصوص دما و رطوب ، در این تحقیق به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر میزان عملکرد و طول دوره‌های رشد گیاه سیب زمینی پرداخته شد. به همین منظور از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM جهت ریزمقاس نمایی برونداد مدل گردش کلی جو CanEMS2 تحت سناریوی های RCP و مدل رشد و نمو WOFOST، استفاده شد. نتایج حاصل از این تحقیق می تواند جهت اتخاذ روش های سازگاری با تغییر اقلیم مورد استفاده مسئولان سازمان جهاد کشاورزی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق ایستگاه‌های با طول دوره آماری ۱۷ ساله (۱۹۸۹ تا ۲۰۰۵) شامل جیرفت، کهنوج و منوجان می باشد. در این مطالعه جهت ریزمقیاس نمایی از داده‌های دمای حداکثر، دمای حداقل، بارش، میانگین رطوبت نسبی، میانگین سرعت باد و ساعات آفتابی در مقیاس زمانی روزانه استفاده گردید. خروجی مدل-های گردش عمومی جو بزرگ مقیاس می‌باشند، بنابراین جهت ریز مقیاس نمایی خروجی مدل گردش عمومی از مدل ریزمقیاس‌کننده SDSM استفاده شد. در مدل SDSM به‌منظور ریز مقیاس نمایی داده‌های پارامترهای اقلیمی از سه نوع داده الف- متغیرهای بزرگ مقیاس در دوره آینده (۲۱۰۰-۲۰۱۱) مدل گردش کلی CanEMS2[1]، ب- متغیرهای بزرگ مقیاس NCEP در دوره (۲۰۰۵-۱۹۸۹) و ج- داده‌های دیده‌بانی (دمای حداکثر، دمای حداقل، بارش، میانگین رطوبت نسبی، میانگین سرعت باد و ساعات آفتابی) روزانه مورد استفاده قرار گرفته است (Bayatani, 2019). به‌منظور تهیه داده‌های مزرعه‌ای جهت واسنجی و ارزیابی مدل WOFOST در شرایط پتانسیل (شرایط بدون محدودیت آب و غذا، کنترل بیماری-ها و علف‌های هرز) از داده‌های طرح‌های تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی جیرفت طی سال‌های ۹۳-۱۳۸۹ جمع‌آوری و به‌عنوان دوره پایه یا دیده‌بانی مورد استفاده قرار گرفت. این اطلاعات شامل تاریخ کاشت، مراحل فنولوژیکی از کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا گلدهی و سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی (برداشت) گیاه سیب‌زمینی در مناطق مورد مطالعه می‌باشد. به‌منظور کالیبراسیون مدل WOFOST با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای، از داده‌های فنولوژیکی و عملکرد در سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۲ و از داده‌های فنولوژیکی و عملکرد در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ برای تعیین اعتبار مدل استفاده شد.

مدل تولید داده SDSM

یکی از مهم‌ترین مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری مدل SDSM است که مولد مصنوعی داده‌های هواشناسی می‌باشد. در این تحقیق، از داده‌های خروجی مدل گردش عمومی جو (CanESM2) تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شده است. مدل SDSM در سال ۲۰۰۲ در انگلستان تهیه شده است. مدل SDSM روابط آماری را بر مبنای روش رگرسیون خطی چندگانه بین متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس (پیش‌بینی‌کننده‌ها) و محلی (پیش-بینی شونده‌ها) محاسبه می‌کند (Willby et al., 2002). در این مدل، اقلیم محلی توسط اقلیم بزرگ مقیاس منطقه در فرم R=F(X) بیان می‌شود. که در اینجا R نشان‌دهنده متغیر محلی است که کوچک مقیاس شده است، X مجموعه‌ای از متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس است و F یک تابع تعیین مشروط به X است که بر اساس آموزش و اعتبارسنجی داده‌های تاریخی بدست می‌آید (Bayatani, 2019).

در این تحقیق در ابتدا به‌منظور واسنجی و صحت یابی مدل SDSM، متغیرهای بزرگ مقیاس مشاهداتی (جدول ۱) منطقه مورد مطالعاتی در مقیاس روزانه در دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۹ (متغیرهای استخراج شده از NCEP) به‌عنوان متغیر مستقل، و داده‌های دمای حداکثر، دمای حداقل، بارش، میانگین رطوبت نسبی، میانگین سرعت باد و ساعات آفتابی روزانه مشاهداتی منطقه درهمین دوره، به‌عنوان متغیر وابسته به‌طور جداگانه وارد مدل شدند. پس از واسنجی مدل SDSM، در ادامه به‌منظور بررسی توانایی مدل گردش کلی CanESM2 در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی منطقه، متغیرهای بزرگ مقیاس مدل CanESM2 در دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۱ به مدل SDSM (واسنجی شده در مرحله قبل) وارد گردیده و متغیرهای دمای حداکثر، دمای حداقل، بارش، میانگین رطوبت نسبی، میانگین سرعت باد و ساعات آفتابی منطقه برای این دوره کوچک مقیاس شدند. در نهایت، متغیرهای کوچک مقیاس شده منطقه با متغیرهای مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفته و پس از کسب اطمینان از توانایی مدل CanESM2 درکوچک مقیاس کردن متغیرهای اقلیمی منطقه، سری زمانی متغیرها با معرفی متغیرهای بزرگ مقیاس مدل CanEMS2 در دوره‌های (۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱، ۲۱۰۰-۲۰۷۱) به مدل SDSM (واسنجی شده از مرحله قبل) برای دوره‌های آتی شبیه‌سازی شدند.

1- Canadian Earth System Model

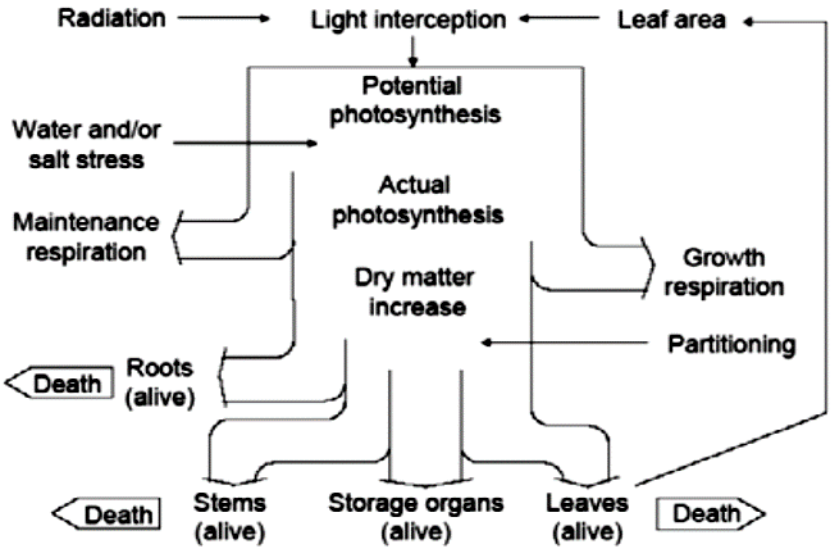
جدول ۱- فهرست متغیرهای NCEP

Table 1- List of NCEP variables

ردیف Row	متغیر پیش‌بینی‌کننده Predictor variable	توضیحات Description
1	P5_f	سرعت باد زمینگرد در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال Geostrophic airflow velocity at 500 hPa
2	P5_u	مولفه مداری سرعت باد در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال Horizontal wind at 500 hPa
3	P5_v	مولفه نصف النهاری سرعت باد در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال Zonal wind at 500 hPa
4	P5_z	تاوایی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال Vorticity at 500 hPa
5	P5th	سمت باد در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال Wind direction at 500 hpa
6	P5zh	واگرایی باد در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال Divergence at 500 hPa
7	P500	ارتفاع ژئوپتانسیل در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال Geopotential height at 500 hPa
8	r500	رطوبت نسبی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال Relative humidity at 500 hPa
9	P_f	سرعت باد زمینگرد Surface geostrophic airflow
10	P_u	مولفه مداری سرعت باد Surface horizontal wind
11	P_v	مولفه نصف النهاری سرعت باد Surface zonal wind
12	P_z	تاوایی Surface vorticity
13	P_th	سمت باد Surface wind direction
14	P_zh	واگرایی باد Surface divergence
15	P8_f	سرعت باد زمینگرد در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال Geostrophic airflow velocity at 850 hPa
16	P8_u	مولفه مداری سرعت باد در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال Horizontal wind at 850 hPa
17	P8_v	مولفه نصف النهاری سرعت باد در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال Zonal wind at 850 hPa
18	P8_z	تاوایی در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال Vorticity at 850 hPa
19	P8th	سمت باد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال Wind direction at 850 hpa
20	P8zh	واگرایی باد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال Divergence at 850 hPa
21	P850	ارتفاع ژئوپتانسیل در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال Geopotential height at 850 hPa
22	r850	رطوبت نسبی در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال Relative humidity at 850 hPa
23	Mslp	میانگین فشار سطح دریا Mean sea level pressure
24	Rhum	رطوبت نسبی نزدیک سطح زمین Near surface relative humidity
25	Shum	رطوبت ویژه نزدیک سطح زمین Near surface specific humidity
26	temp	دمای هوا در ارتفاع ۲ متری 2-m air temperature

معرفی مدل WOFOST

مدل WOFOST نمو فنولوژیکی و رشد گیاه را از آغاز جوانه زنی تا زمان رسیدگی بر اساس خصوصیات ژنتیکی گیاه و شرایط محیطی توصیف می‌کند. این برنامه ماده خشک گیاه را به‌عنوان تابعی از تشعشع، دما و خصوصیت‌های گیاه در مراحل زمانی یک روز شبیه سازی میکند. اصول محاسبه تولید ماده خشک، سرعت ناخالص جذب CO_2 توسط کانوپی است، که به انرژی تابشی جذب شده بستگی دارد که تابعی از تشعشع روزانه، سطح برگ گیاه و ضریب خاموشی نور در کانوپی است. WOFOST میزان جذب CO_2 ناخالص از یک گیاه را بر پایه تشعشع فعال فتوسنتزی (۵۰ درصد از کل تشعشع خورشیدی با طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) جذب شده توسط گیاه شبیه سازی می‌کند. CO_2 با استفاده از انرژی تأمین شده بوسیله نور به کربوهیدرات (CH_2O) تبدیل می‌شود. قسمتی از کربوهیدرات‌های باقیمانده در مسیر تنفس رشد به ماده خشک تبدیل می‌شوند، فرآیندهای ذکر شده ساختار مدل، در شکل ۱ ارائه شده است. رشد در مدل به‌صورت دینامیک با گام زمانی یک روزه شبیه سازی می‌شود (Taei Samiromi et al., 2012). مدل WOFOST دارای نسخه‌های مختلفی است که در طول سال‌های مختلف ایجاد شده است. در این مطالعه از نسخه WOFOST ver 7.1 استفاده شد، که توسط مرکز تحقیقات اگروبیولوژی و حاصلخیزی خاک و مرکز تحقیقات کشاورزی هلند در دانشگاه واخنینگن ساخته شده است.



شکل ۱- مراحل شبیه سازی رشد و نمو گیاه در مدل WOFOST (Supit et al., 1994)

Fig. 1- Stages of plant growth simulation in WOFOST model (Supit et al., 1994)

برای توصیف نمو فنولوژیکی گیاه در مدل WOFOST از متغیر DVS استفاده می‌شود که برای جوانه زنی، گلدهی و برداشت به ترتیب مقادیر ۰، ۱ و ۲ در نظر می‌گیرد که تابعی از درجه روز می‌باشد (Taei Samiromi et al, 2014). دوره زندگی سیب‌زمینی در مدل WOFOST به دو مرحله تقسیم می‌شود:

جوانه زنی (DVS=0) تا زمان گلدهی (DVS=1)

دوره زایشی: از گلدهی (DVS=1) تا زمان رسیدگی فیزیولوژیکی (DVS=2)

برای اجرای مدل WOFOST الف) به داده‌های هواشناسی (حداقل دما، حداکثر دما، میانگین رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، متوسط سرعت باد و بارش) به‌صورت روزانه و ب) داده‌های مزرعه‌ای لازم می‌باشد. داده‌های مورد نیاز برای کالیبراسیون و تعیین اعتبار مدل از آزمایشات مزرعه‌ای انجام شده در مرکز تحقیقات کشاورزی جیرفت فراهم شد. مرحله کالیبراسیون مدل WOFOST با استفاده از متغیرهای اندازه‌گیری شده رشد گیاه زراعی نظیر مشاهدات مراحل فنولوژیکی گیاه سیب‌زمینی (کاشت تا سبز شدن، سبزشدن تا گلدهی

و سبزشدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی (برداشت)) و میزان عملکرد در سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۰ و۱۳۹۲ انجام گرفت. بعد از کالیبراسیون نمودن مدل WOFOST، تعیین اعتبار مدل با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ انجام گرفت.

معیارهای ارزیابی عملکرد مدل

جهت ارزیابی توانمندی و دقت مدل SDSM در شبیه‌سازی داده-های دیده‌بانی (۲۰۰۵-۱۹۸۹) و همینطور تعیین اعتبار و ارزیابی مدل WOFOST در شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی مختلف گیاه سیب-زمینی و عملکرد غده سیب‌زمینی از معیارهای آماری، همچون ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE[1])، جذر میانگین مجذور خطای نرمال شده (RMSEn[2])، حداکثر خطا (ME[3])، ضریب تبیین (R^2)[4]، ضریب ناش ساتکلیف (E_{ns}[5]) استفاده گردید (Bayatani, 2019).

معادله (۱)
$$\mathbf{RMSEn} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(S_i - M_i)^2}$$

معادله (۲)
$$\mathbf{ME} = \mathbf{Max}|S_i - M_i|.\frac{100}{\bar{M}}$$

معادله (۳)
$$\mathbf{RMSEn} = 100\frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(S_i-M_i)^2}}{\bar{M}}$$

در این معادلات، Si و Mi به‌ترتیب مقادیر شبیه‌سازی و اندازه-گیری شده، $\bar{M}$ میانگین مقادیر Mi و n تعداد مشاهدات می‌باشد. مقادیر جذر میانگین مجذور خطا و جذر میانگین مجذور خطای نرمال شده در حالت اپتیمم یا حالتی که مقادیر شبیه سازی شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشد برابر با صفر و مقدار کارایی مدل در این حالت برابر با یک می‌باشد.

همچنین می‌توان برای ارزیابی مدل WOFOST از نمودار مقادیر واقعی (Mi) در برابر مقادیر شبیه‌سازی شده (Si) و از معادله رگرسیون خط ۱:۱ رسم شده استفاده کرد.

معادله (۴)
$$\mathbf{M_i} = \boldsymbol{\beta}\mathbf{M_i} - \boldsymbol{\beta}\mathbf{S_i}(\mathbf{S})$$

سپس اختلاف عرض از مبدأ (βM_i)و ضریب متغیرS، (βS_i) یا همان شیب خط رگرسیونی به‌ترتیب با صفر و یک مورد مقایسه قرار گرفت.

1- Root Mean Squre Error
2- Root Mean Square Error-Normalized
3- Maximum Error
4 - R-Squared correlation
5 - Nash Sutcliffe coefficient

نتایج و بحث

کالیبراسیون و اعتبار سنجی مدل رشد گیاهی WOFOST تحت شرایط مزرعه ای

پارامترهای مختلف مدل رشد گیاهی WOFOST که با هدف حداقل کردن اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده عملکرد غده و طول مراحل فنولوژیک سیب‌زمینی در مرحله کالیبراسیون نهایی شد در جدول ۲ آمده است. از بین این پارامترها TSUM1 و TSUM2، دمای پایه رشد، TSUMEM، سطح ویژه برگ، حداکثر سرعت جذب CO2، بهره وری تبدیل به برگ، ریشه و ساقه طبق جدول ۲ تعدیل شدند و سایر پارامترها به‌صورت مقادیر پیش فرض مدل در نظر گرفته شدند.

بر اساس نتایج مقادیر اندازه‌گیری شده در مدت ۵ سال با تاریخ کاشت‌های مرسوم (جدول ۳) میانگین طول دوره کاشت تا سبز شدن ۲۳/۷ روز، میانگین دوره سبز شدن تا آغاز گلدهی ۳۴ روز و میانگین طول دوره سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی (برداشت) ۱۰۲/۷ روز، بطور متوسط برای منطقه مورد مطالعه محاسبه و تعیین گردید. مدل در مرحله کالیبراسیون طول دوره سبز شدن را ۲۴/۳ روز، دوره آغاز گلدهی را ۳۳/۷ روز و طول دوره سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی را (برداشت) را ۱۰۰روز، بطور میانگین برای ۳ ایستگاه مورد مطالعه شبیه‌سازی نمود. در مرحله تعیین اعتبار مدل بطور میانگین طول دوره سبز شدن را ۲۲/۷ روز، طول دوره گلدهی را ۳۴/۲ روز و طول دوره سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی (برداشت) را ۱۰۱/۸ روز برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه شبیه‌سازی نمود.

مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده با مقادیر واقعی در مرحله کالیبراسیون و اعتبارسنجی در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که مقدار ضریب R^2 محاسبه شده برای مراحل فنولوژیک و عملکرد در هر دو مرحله کالیبراسیون و اعتبار-سنجی به‌ترتیب بیش از ۰/۸۷ و ۰/۹۴ بود که نشان‌دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک و عملکرد سیب‌زمینی است.

نتایج تعیین اعتبار مدل WOFOST برای مراحل فنولوژیک و عملکرد سیب‌زمینی در جدول ۴ نشان داده شده است. مدل WOFOST برآورد قابل قبولی برای هر دو متغیر به همراه داشت. بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی مشخص شد میزان عملکرد شبیه-سازی شده، برازش خوبی با مقادیر دیده‌بانی شده دارد (شکل ۲).

جدول ۲- پارامترهای گیاهی مدل WOFOST در مرحله کالیبراسیون در شرایط پتانسیل

Table 2- Plant parameters of the WOFOST model in calibration stage under potential conditions

پارامتر Parameter	توصیف پارامتر Parameter description	مقدار Value		واحد Unit
		پیش فرض Default	تعدیل شده Justified	
TBASEEM	دمای پایین‌تراز آستانه برای ظهور Temperatures below the threshold for emergence	3	5	سانتیگراد °C
TSUMEM	مجموعه درجه روز از کاشت تا سبز شدن Daily degree set from planting to emergence	170	434.9	درجه روز °Cd
TSUM1	مجموعه درجه روز از سبز شدن تا گلدهی Daytime collection from emergence to flowering	150	502.1	درجه روز °Cd
TSUM2	مجموعه درجه روز از گلدهی تا بلوغ یا برداشت Daily degree set from flowering to maturity or harvest	1550	815.4	درجه روز °Cd
SLATB	سطح ویژه برگ Special surface of leaves	0.003	0.002	هکتار/کیلوگرم $ha.kg^{-1}$
AMAXTB	حداکثر سرعت جذب CO_2 Maximum rate of CO_2 uptake	30	35	کیلوگرم/هکتار/ساعت $kg.ha^{-1}.hr^{-1}$
CVL	بهره‌وری تبدیل به برگ Leaf conversion productivity	0.720	0.760	کیلوگرم/کیلوگرم $kg.kg^{-1}$
CVR	بهره‌وری تبدیل به ریشه Productivity becomes the root	0.720	0.755	کیلوگرم/کیلوگرم $kg.kg^{-1}$

جدول ۳- طول دوره مراحل فنولوژیکی بر اساس تاریخ کاشت (تعداد روز از اول ژانویه) بصورت میانگین طی سال‌های ۹۳-۱۳۸۹

Table 3– Duration of phenological stages based on planting date (day from January 1) on average during the years 2011-2015

شهر City	سال Year	تاریخ کاشت Date of planting (day)	مراحل فنولوژیکی (روز) Phenological stages					
			کاشت تا سبز شدن Planting-Sprout (day)		سبز شدن تا گلدهی Sprout-flowering (day)		سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی (برداشت) Sprout-physiological (day) maturity	
			شبیه سازی Simulated	دیدبانی Observation	شبیه سازی Simulated	دیدبانی Observation	شبیه سازی Simulated	دیدبانی Observation
جیرفت Jiroft	1389	260	25	26	35	37	104	106
	1390	260	23	24	33	34	98	100
	1391	260	24	26	36	37	100	102
	1392	260	24	25	34	36	103	105
	1393	260	22	24	33	35	106	108
کهنوج Kahnuoj	1389	260	24	24	32	33	104	103
	1390	260	24	25	35	36	102	101
	1391	260	22	24	34	36	104	103
	1392	260	22	23	32	33	96	98
	1393	260	24	26	34	35	101	102
منوجان Manuojan	1389	260	21	22	33	35	102	104
	1390	260	23	24	34	35	97	99
	1391	260	20	22	33	35	103	103
	1392	260	21	22	32	33	100	101
	1393	260	22	23	35	36	104	105
میانگین Average	---	---	22.7	24	33.7	35	101.6	102.7

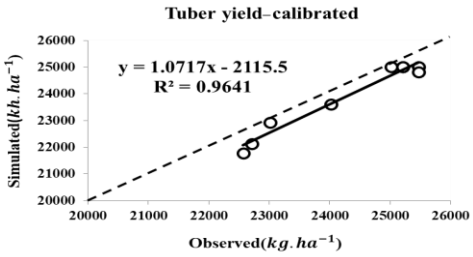
مقادیر میانگین مربعات خطا برای هر دو متغیر در محـدوده عـالی قرار داشت و از ۷/۴ درصد تجاوز نکرد، بعلاوه شـیب خـط رگرسـیون بین مقادیر دیده‌بانی و شبیه‌سـازی شـده بـرای مراحـل فنولوژیـک و عملکرد با شیب خط ۱:۱ تفاوت معنی‌داری نشان نـداد (شـکل۲). بـر اساس شکل ۲ بیشـتر از ۸۷ درصـد مراحـل فنولوژیـک و بـالای ۹۰ درصد عملکرد غـده سـیب‌زمینی، در اطـراف خـط اسـتاندارد (±SE) مراحل فنولوژیک و عملکرد دیده‌بانی شده قرار دارد. همچنین ضـریب تبیین (R^2) نیز همبستگی بالایی (R^2 >0.87) بین مقادیر *دیـده‌بـانی* شده با مقادیر شبیه سازی شده نشان می‌دهد. مقادیر ME نشان‌دهنده (ME< 12) کارایی بالای مدل می‌باشـد. بنـابراین، نتـایج بررسـی و مقایسه شاخص‌های مختلف آماری نشان‌دهنده دقت بالای مدل رشد گیاهی WOFOST در شـبیه سـازی عملکـرد و مراحـل فنولوژیـک سیب‌زمینی است.

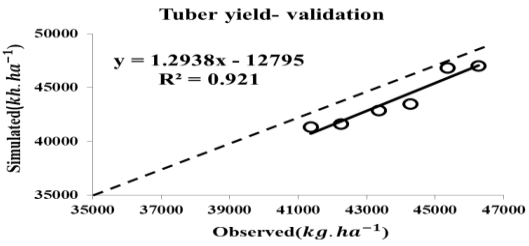
جدول ٤- نتایج کالیبراسیون و تعیین اعتبار مدل برای عملکرد و مراحل فنولوژیک سیب‌زمینی در شرایط پتانسیل

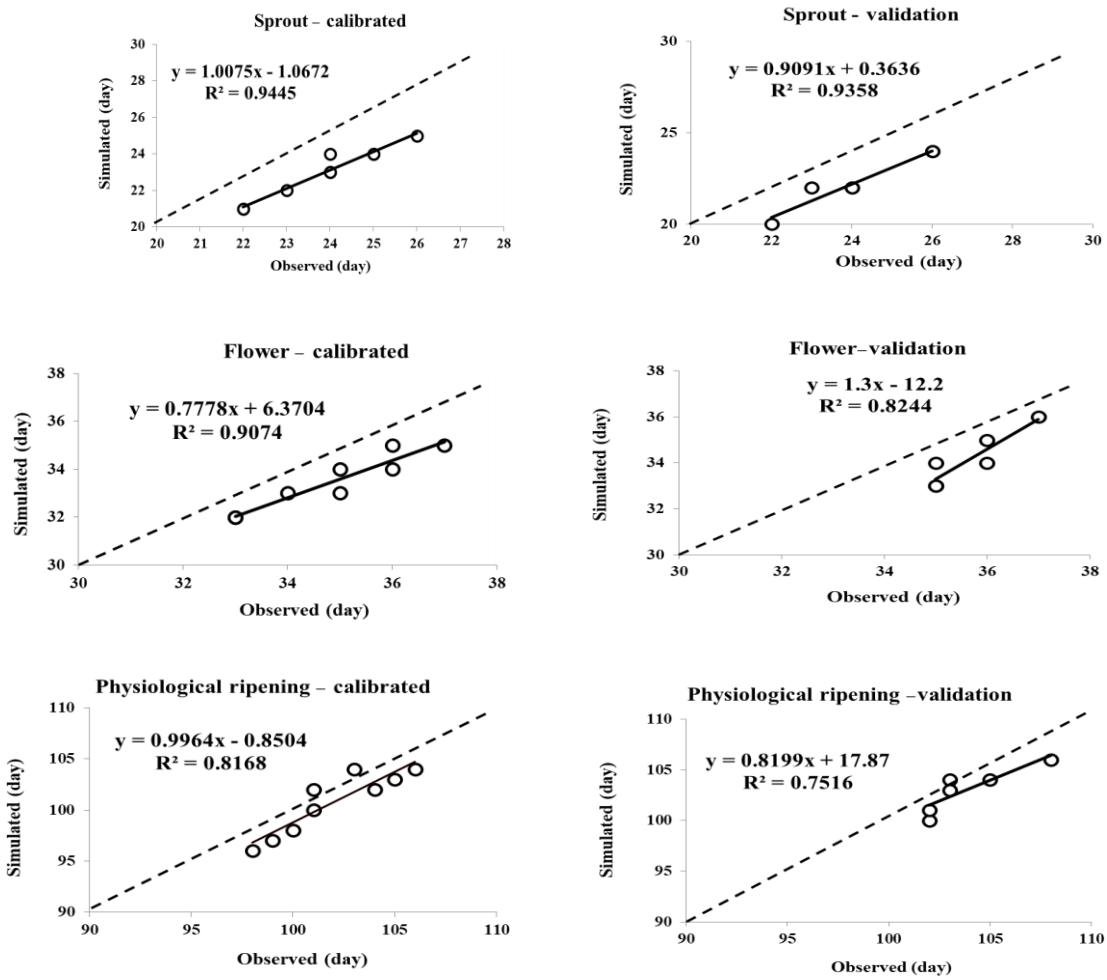
Table 4- Calibration results and model validation for potato yield and phenological stages under potential conditions

	مراحل فنولوژیک و عملکرد Yield and phenological stages	ایستگاه Station	دیده‌بانی Observation	شبیه‌سازی Simulated	RMSE	RMSEn	R^2	ME
کالیبراسیون Calibrated	کاشت-سبز شدن Planting-sprout	جیرفت Jiroft	25	24	1	4	0.93	4
		کهنوج Kahnouj	24	23.5	0.5	2	0.94	2.9
		منوجان Manoujan	23	21.8	0.9	4	1	4.4
	سبز شدن- گلدهی Sprout-flowering	جیرفت Jiroft	35.3	35	1.7	4.9	0.75	5.7
		کهنوج Kahnouj	34.4	33	1.3	4	0.81	5.8
		منوجان Manoujan	32.3	33	0.82	2.5	0.78	3
	سبز شدن- رسیدگی (برداشت) Sprout-physiological (maturity)	جیرفت Jiroft	103.7	100.3	3.6	3.4	0.81	4.8
		کهنوج Kahnouj	101	100	1.7	1.7	0.72	2.5
		منوجان Manoujan	101.3	99.7	1.7	1.7	0.95	1.97
	عملکرد غده Tuber yield	جیرفت Jiroft	44899	44545	567.5	2.5	0.97	1.8
		کهنوج Kahnouj	42765.7	42281	567.5	2.5	0.99	3.5
		منوجان	45232.3	44950.4	390.6	1.6	0.82	2.6

		Manoujan						
		جیرفت Jiroft	24.5	23	1.3	5.2	1	8.2
	کاشت- سبز شدن Planting-sprout	کهنوج Kahnouj	24	23	0.82	3.4	1	4.2
		منوجان Manoujan	21.5	21	0.58	2.7	1	4.6
		جیرفت Jiroft	34.5	34.4	0.9	2.6	1	3.5
	سبز شدن- گلدهی Sprout-flowering	کهنوج Kahnouj	34.5	34.3	0.1	0.37	1	0.6
		منوجان Manoujan	34	33.5	1.3	3.8	1	6
تعیین اعتبار validation		جیرفت Jiroft	105	99.5	4.9	4.7	1	7.6
	سبز شدن-رسیدگی (برداشت) Sprout-physiological (maturity)	کهنوج Kahnouj	102.5	102.3	0.94	0.92	1	1.3
		منوجان Manoujan	104	103.5	0.58	0.55	1	0.96
		جیرفت Jiroft	43806.5	42212	3267.5	7.4	1	12
	عملکرد غده Tuber yield	کهنوج Kahnouj	42716	43180	1764.5	4	1	5.7
		منوجان Manoujan	44563	43996	2685.7	6.7	1	10







شکل ۲- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده برای عملکرد غده گیاه سیب‌زمینی (داده‌های سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۲ برای مرحله‌ی کالیبراسیون و داده‌های سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ برای مرحله‌ی تعیین اعتبار)، خط یک به یک نیز در شکل نشان داده شده است.

Fig. 2- Comparison of the simulated values with measured values for potato tuber yield (data for 2011, 2012 and 2014 for the calibration stage and data for 2013 and 2015 for the stage Validation), the one-to-one line is also shown in the figure

تولید سناریوهای تغییراقلیم در دوره‌های آتی

عملکرد مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی بوسیله‌ی شاخص‌های آماری (جدول ۵) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد مقدار ضریب تبیین R^2 در همه موارد از مقدار قابل توجهی برخوردار است (بالای ۰/۹۹). حداکثر خطا (ME) برای شبیه سازی دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش بطور میانگین برای هر سه ایستگاه مورد مطالعه به‌ترتیب ۰/۱۷، ۰/۱۵ و ۱۹/۹ بدست آمد که نشان از خطای بیشتر شبیه سازی بارش نسبت به پارامتر دما می باشد. شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در شبیه سازی بارش نیز نسبت به دیگر پارامترها به‌مراتب بیشتر بوده (۲/۲) و خطای بیشتری را نشان می‌دهد. بنابراین، با توجه به نتایج جدول ۵ توانایی مدل SDSM در شبیه سازی پارامترهای هواشناسی تایید شده، ولی با این حال مدل در شبیه سازی بارش دقت کمتری را نشان می‌دهد که با یافته‌های جعفرپور (Jafarpour, 2016)، نظری و همکاران (Nazari et al.,2015) و طایی سمیرمی و همکاران (Taie Samiromo et al., 2014) مطابقت دارد. در ادامه نتایج بدست آمده از ارزیابی مدل SDSM در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- کارآیی مدل SDSM در شبیه‌سازی بارش و میانگین دمای حداقل و دمای حداکثر در دوره دیدبانی با داده‌های NCEP

Table 5- Efficiency of the SDSM model in simulating precipitation and mean minimum and maximum temperature and maximum temperature during the observation period with NCEP data

ایستگاه Station	متغیر Variable	معیار دقت Accuracy criteria					
		درصد خطا Percentage error	E_{ns}	RMSE	RMSEn (%)	ME	R^2
جیرفت Jroft	دمای حداقل T-min	-0.02	0.99	0.02	0.1	0.21	1
	دمای حداکثر T-max	-0.02	0.99	0.03	0.1	0.24	1
	بارش Precipitation	-4.5	0.99	1.2	0.7	21	0.99
کهنوج Kahnouj	دمای حداقل T-min	-0.03	0.99	0.02	0.1	0.2	1
	دمای حداکثر T-max	0.004	0.99	0.02	0.05	0.1	1
	بارش Precipitation	-1.7	0.99	0.7	0.4	10.8	0.99
منوجان Manoujan	دمای حداقل T-min	-0.04	0.99	0.01	0.07	0.1	1
	دمای حداکثر T-max	-0.04	0.99	0.03	0.1	0.1	1
	بارش Precipitation	-1.8	0.99	1.6	0.8	28	0.99

در جدول ۶ نتایج مربوط به شبیه‌سازی دمای حداقل، حداکثر و بارش در سه دوره آینده تحت سناریوی انتشار RCP4.5, RCP2.6 و RCP8.5 نمایش داده شده است. با توجه به جدول ۶ دمای حداکثر و حداقل شبیه‌سازی شده برای دوره آینده (۲۱۰۰-۲۰۱۱) تحت سناریوهای RCP نسبت به دوره دیدبانی در هر سه سناریو RCP افزایش نشان می‌دهد. بارش نیز در دوره‌های آینده در هر سه سناریوها دچار تغییر شده است و روند روبه کاهش را نشان می‌دهد. میانگین افزایش سالانه دمای حداقل و حداکثر در مناطق مورد مطالعه از ۰/۴ درجه سانتیگراد در سناریوی RCP2.6 تا ۰/۷ درجه سانتیگراد در سناریوی RCP8.5 مشاهده شد. بیشترین افزایش دمای حداکثر و حداقل به‌ترتیب به‌میزان ۱ و ۱/۳ درجه سانتیگراد درایستگاه کهنوج و جیرفت در سناریوی RCP8.5 مشاهده گردید. میانگین کاهش بارش به‌میزان ۱/۲ میلیمتر در سناریوی RCP2.6 تا ۱/۷ میلیمتر در سناریوی RCP8.5 نیز مشاهده گردید. بیشترین کاهش بارش به مقدار ۳۸ میلیمتر در ایستگاه جیرفت مشاهده شد.

جدول ٦- میزان تغییرات میانگین دمای حداقل و حداکثر و بارش سالانه در ایستگاه‌های منتخب در سه دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۱۰۰-۲۰۷۱ نسبت به دوره دیدبانی تحت سه سناریوی انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5

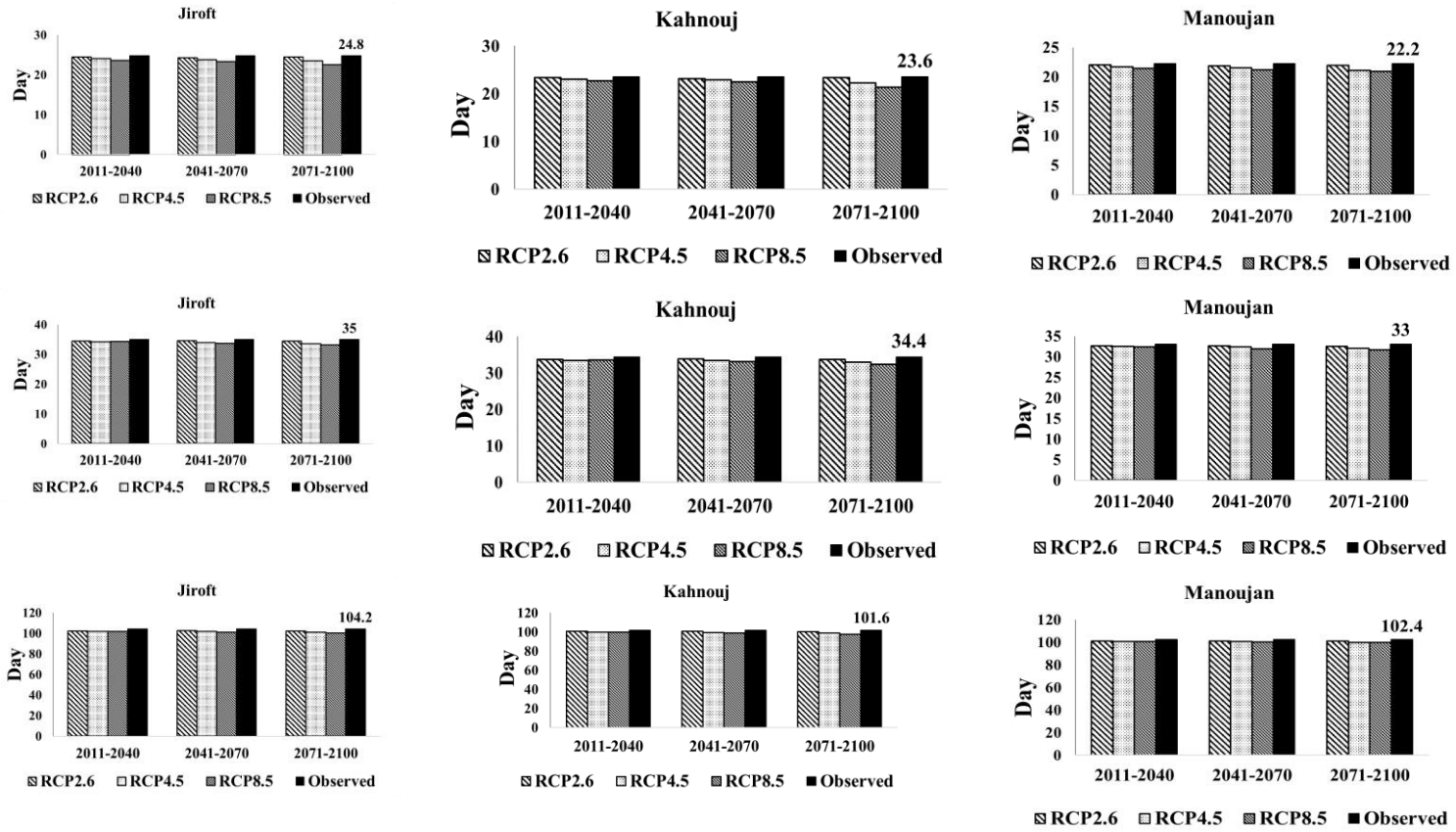
Table 6- Changes in the average minimum and maximum temperatures and annual precipitation at selected stations in the three periods 2040-2011, 2070-2041 and 20100-2071 compared to the observation period under the three emission scenarios RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5

ایستگاه Station		دمای حداقل Minimum temperature						دمای حداکثر Minimum temperature						بارش Precipitation					
		جیرفت Jiroft		کهنوج Kahnouj		منوجان Manoujan		جیرفت Jiroft		کهنوج Kahnouj		منوجان Manoujan		جیرفت Jiroft		کهنوج Kahnouj		منوجان Manoujan	
دیدبانی Observed		17		19.7		18.8		32.8		33.7		34.2		175.8		185.9		203.8	
		%	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%	mm	%	mm	%	mm
2011-2040	Rcp2.6	2	0.4	۲	0.4	2	0.4	0.4	0.5	1	0.4	1	0.3	-8	-13	-8	-15	-8	-16
	Rcp4.5	2	0.3	۲	0.4	2	0.5	0.5	0.4	1	0.3	1	0.3	-6	-10	-7	-12	6	-12
	Rcp8.5	2	0.4	2	0.4	2	0.4	0.4	0.5	1	0.4	1	0.3	-8	-14	-7	-14	-9	-18
2041-2070	Rcp2.6	3	0.5	3	0.5	2	0.4	0.4	0.6	1	0.5	1	0.4	-7	-12	-9	-16	-6	-12
	Rcp4.5	4	0.6	3	0.6	3	0.6	0.6	0.7	2	0.6	2	0.5	-11	-19	-12	-22	-6	-12
	Rcp8.5	5	0.8	4	0.9	4	0.7	0.7	1	2	0.8	2	0.7	-18	-31	-13	-24	-5	-10
2071-2100	Rcp2.6	3	0.4	2	0.4	2	0.4	0.4	0.6	1	0.4	1	0.4	-7	-12	-7	-13	-7.5	-15
	Rcp4.5	4	0.7	4	0.8	4	0.8	0.8	1	2	0.7	2	0.6	-14	-25	-14	-27	-3	-6
	Rcp8.5	7	1.2	7	1.3	3	0.5	0.5	1	4	1	۱	0.4	-21	-38	-11	-20	-5	-9

بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر طول مراحل فنولوژیکی و عملکرد غده

تلفیق نتایج حاصل از مدل اقلیمی CanESM2 تحت سناریوهای انتشار RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 در سه دوره اقلیمی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ با مدل شبیه‌ساز رشد و نمو WOFOST نشان داد که طول مراحل مختلف فنولوژیکی، از کاشت تا سبزشدن، سبزشدن تا گلدهی و سبزشدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی (برداشت) (بدون محدودیت آب و عناصر غذایی) و عملکرد غده سیب‌زمینی در شرایط پتانسیل در مناطق مورد مطالعه کاهش خواهد یافت. نتایج حاصل شده با یافته‌های ادواری و همکاران (Advari et al., 2019) و ترکمان (Turkaman, 2016) مطابقت دارد.

بر اساس نتایج شبیه‌سازی در مناطق مورد مطالعه در دوره اقلیمی آینده، طول دوره کاشت تا سبز شدن بطور میانگین بین ۰/۳ روز تا ۱/۳ روز کاهش خواهد یافت. در مناطق گرمسیری که دارای زمستان‌های معتدل هستند و کشت پاییزه سیب‌زمینی انجام می‌شود، مرحله‌ی کاشت تا سبز شدن بیشتر از سایر مراحل فنولوژیکی سیب-زمینی، تحت تأثیر اثرات ناشی از گرمایش جهانی خواهد بود. البته تا کنون تأثیر منفی کاهش طول دوره کاشت تا سبزشدن به‌علت گرمایش جهانی بر عملکرد نهایی غده‌های سیب‌زمینی گزارش نشده است (Turkaman, 2016). با این‌وجود افزایش دما، ناشی از تغییراقلیم طول دوره رشد را در مناطق گرمسیری به‌شدت کاهش خواهد داد. بنابراین، موضوع تغییر تاریخ کاشت یکی از آثار گرمایش جهانی و راهکار سازگاری با پدیده گرمایش جهانی می‌باشد (Turkaman, 2016). طول دوره سبزشدن تا گلدهی بطور میانگین بین ۰/۷ روز تا ۱/۵ روز کاهش خواهد یافت. بطور متوسط میزان کاهش دوره‌ی گلدهی در سناریوی RCP2.6 بین ۰/۵ تا ۰/۸ روز، در سناریوی RCP4.5 در محدوده‌ی ۱ تا ۱/۶ روز و در سناریوی RCP8.5 در محدوده‌ی ۱/۰۵ تا ۱/۷ روز خواهد بود. مرحله‌ی سبزشدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی غده‌ها (برداشت) به‌علت طولانی‌تر بودن آن بیشترین کاهش طول دوره در این مرحله اتفاق افتاد. به‌طور متوسط میزان کاهش طول دوره رسیدگی فیزیولوژیکی غده‌ها (برداشت) برای ۳ ایستگاه مورد مطالعه بین ۱/۹ روز در سناریوی RCP2.6 تا ۳/۶ روز در سناریوی RCP8.5 قرار دارد (شکل ۳).



شکل ۳- شبیه‌سازی مدت زمان کاشت تا سبز شدن (بالا)، سبز شدن تا گلدهی (وسط) و سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی (برداشت) (پایین) گیاه سیب‌زمینی بر اساس مدل CanESM2 برای سه دوره اقلیمی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱، تحت سناریوهای RCP با استفاده از مدل WOFOST

Fig. 3- Simulation of planting time to emergence (top), green to flowering (middle) and emergence to physiological maturity (bottom) of potato plant based on CanESM2 model for three climatic periods 2040-2011, 2070-2041 And 2100-2071f under RCP scenarios using the WOFOST model

شبیه‌سازی عملکرد غده سیب‌زمینی

بر اساس گزارشات موجود واکنش عملکرد سیب‌زمینی نسبت به تغییراقلیم بسته به منطقه و سناریوی تغییر اقلیم متفاوت است (Turkaman, 2016). نتایج شبیه‌سازی عملکرد غده سیب‌زمینی نشان‌دهنده‌ی کاهش عملکرد در هر سه ایستگاه مورد مطالعه است (جدول ۷). با توجه به نتایج بدست آمده، بیشترین میزان کاهش عملکرد در دوره سوم (۲۱۰۰-۲۰۷۱) مشاهده شد. درصد کاهش عملکرد غده بطور میانگین بین ۲ تا ۴/۳ درصد در مناطق مورد مطالعه مشاهده شد(جدول ۷).

در ایستگاه جیرفت در سه دوره آتی بطور متوسط، تحت سناریوی RCP2.6، ۱/۵ درصد، سناریوی RCP4.5، ۳/۱ درصد و سناریوی RCP8.5 ۴/۰۵ درصد کاهش عملکرد مشاهده گردید. در ایستگاه کهنوج و منوجان به‌ترتیب در سناریوی RCP2.6، ۱/۶ و ۲/۹ درصد، در سناریوی RCP4.5، ۲/۹ و ۵/۲ درصد و در نهایت، سناریوی RCP8.5، ۴ و ۴٫۸ درصد کاهش عملکرد غده مشاهده شد. بنابراین، با توجه به نتایج بدست آمده بیشترین کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی در هر سه دوره آینده تحت سناریوهای اقلیمی RCP در ایستگاه منوجان می‌باشد.

جدول ۷- شبیه‌سازی عملکرد غده سیب‌زمینی (کیلوگرم در هکتار) و درصد کاهش عملکرد بر اساس مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP در مناطق مورد مطالعه در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱

Table 7- Simulation of potato tuber yield (kg.ha^{-1}) and yield reduction percentage based on CanESM2 model under RCP scenarios in the studied areas in the periods 2040-2011, 2070-2041 and 2100-2071

ایستگاه Station	دیدبانی Observed		2011-2040			2041-2070			2071-2100		
			RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
جیرفت Jiroft	44353	عملکرد Yield	44010	43914	43707	43370	42767	42345	43637	42262	41605
		درصد Percent	-0.8	-1	-1.5	-2	-3.6	-4.5	-1.6	-5	-6
کهنوج Kahnouj	42741	عملکرد Yield	42289	42091	41761	41878	41661	41323	42013	40790	40060
		درصد Percent	-1	-1.5	-2.3	-2	-2.5	-3	-2	-5	-6.3
منوجان Manoujan	44898	عملکرد Yield	44482	44347	43241	43930	43825	43690	43579	42900	43249
		درصد Percent	-0.9	-1	-1.5	-2	-2.4	-2.7	-3	-4.4	-4

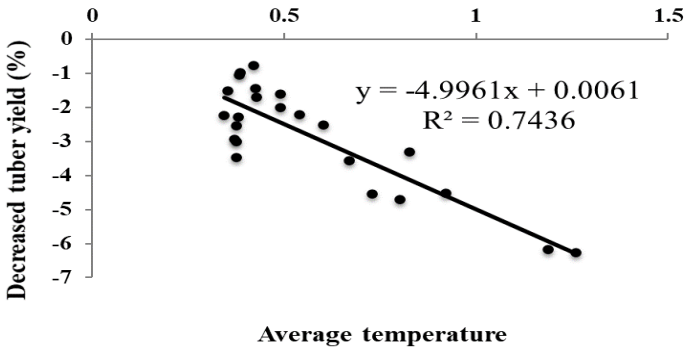
اثرات تغییرات مدت زمان مراحل فنولوژیکی بر عملکرد سیب‌زمینی

به‌منظور ارزیابی روند عملکرد سیب‌زمینی در مناطق مورد مطالعه تحت تأثیر تغییرات ایجاد شده در طول دوره رشد گیاه سیب‌زمینی (کاشت تا سبزشدن، سبزشدن تا گلدهی و سبزشدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی (برداشت)، نتایج حاصل از شبیه‌سازی دمای حداقل و دمای حداکثر با نتایج شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی و عملکرد غده سیب‌زمینی تلفیق گردید. نتایج بیانگر افزایش میانگین دماهای حداقل و حداکثر به‌میزان ۰/۳۷ تا ۰/۹ درجه سانتیگراد طی سه دوره آینده می‌باشد (جدول ۸). طول مراحل فنولوژیکی گیاه سیب‌زمینی از سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی (برداشت) به‌موازات افزایش میانگین دمای حداقل و حداکثر کاهش یافته‌اند (جدول ۸). کاهش طول مرحله سبزشدن بین ۰/۲ تا ۱/۹ روز، مرحله گلدهی بین ۰/۵ تا ۱/۷ روز و مرحله سبزشدن تا رسیدگی (برداشت) بین ۱/۴ تا ۳/۵ روز قرار دارد. نتایج جدول ۸ حاکی از آن است که با افزایش میانگین دما، طول مراحل رشد فنولوژیکی گیاه کاهش خواهد یافت و به تبع آن کاهش میزان عملکرد غده سیب‌زمینی را در پی خواهد داشت. همانطور که در جدول ۸ نیز مشاهده می‌شود میزان کاهش عملکرد غده در سناریوی RCP2.6 در دوره اول (۲۰۴۰-۲۰۱۱) از ۶۰۳/۶ کیلو در هکتار به‌مقدار ۲۵۹۲/۳ کیلو در هکتار در سناریوی RCP8.5 در دوره سوم (۲۱۰۰-۲۰۷۱) رسیده است. بیشترین کاهش در طول مراحل فنولوژیکی مربوط به مرحله سبزشدن تا رسیدگی (برداشت) به میزان ۳/۵ روز است. شکل ۴ نشان می‌دهد که به‌ازای هر یک درجه سانتیگراد افزایش میانگین دما سالانه، عملکرد غده به‌میزان ۴/۹۹ درصد کاهش خواهد یافت.

جدول ۸- مقایسه مدت زمان کاهش مراحل فنولوژیکی (روز) و عملکرد غده سیب‌زمینی (کیلوگرم در هکتار) و افزایش میانگین دمای حداقل و حداکثر (درجه سانتیگراد) بر اساس مدل گردش عمومی CanEMS2 تحت سناریوهای RCP در مناطق مورد مطالعه

Table 8- Comparison of the duration of reduction of phenological stages (days) and potato tuber yield (kg / ha) and increase of Average minimum and maximum temperatures (degrees Celsius) based on the general circulation model anCanEMS2 under RCP scenarios in the study areas

پارامترها Parameter	2011-2040			2041-2070			2071-2100		
	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Sprout	-0.2	-0.6	-1	-0.4	-0.8	-1.2	-0.3	-1.2	-1.9
Flower	-0.5	-0.7	-0.7	-0.4	-0.9	-1.2	-0.5	-1.3	-1.7
Ripening	-1.4	-1.9	-2	-1.3	-2.1	-2.7	-1.6	-2.7	-3.5
Yield	-603.6	-1138	-921	-746.3	-1712.8	-2479.4	-994	-2077.8	-2592.3
Average temperature	0.37	0.37	0.38	0.45	0.6	0.8	0.4	0.7	0.9



شکل ٤- درصد کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی به‌ازای افزایش میانگین دمای سالانه با استفاده از مدل گردش عمومی CanEMS2 تحت سناریوهای RCP در مناطق مورد مطالعه

Fig. 4- Percentage decrease in potato tuber yield for increase in average annual temperature using CanEMS2 general circulation model under RCP scenarios in the studied areas

نتیجه‌گیری

از مصادیق بارز تغییراقلیم افزایش دما و کاهش بارش در اقلیم آینده است. بنابراین، هرگونه تغییر در وضعیت آب و هوای جهان، به طور مستقیم بر تولید محصولات کشاورزی و در نتیجه بر موضوع تامین امنیت غذایی در سطح جهان تاثیرگذار است. در همین راستا در این مطالعه به ارزیابی تاثیرات تغییراقلیم بر عملکرد و طول مراحل فنولوژیکی سیب‌زمینی در سه ایستگاه جیرفت، کهنوج و منوجان، از مراکز اصلی تولید سیب‌زمینی درکشور محسوب می‌شوند، در آینده پرداخته شد. مناطق نام برده در این مطالعه جهت شبیه‌سازی اقلیم آینده، از داده‌های مدل گردش کلی CanESM2 تحت سناریوهای انتشار RCP2.6 ,RCP4.5 و RCP8.5، برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۱۱ استفاده گردید. برای ریزگردانی خروجی مدل CanESM2 از نرم‌افزار آماری SDSM و برای شبیه‌سازی عملکرد سیب‌زمینی از مدل رشد و نمو WOFOST استفاده شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی پارامترهای دما (دمای حداقل و حداکثر)، حاکی از افزایش میانگین دمای حداقل و دمای حداکثر به‌ترتیب از ۰/۳۸ تا ۱ درجه سانتیگراد و ۰/۳۶ تا ۰/۹ درجه سانتیگراد بود. در ایستگاه منوجان در دوره آخر روند افزایش دما از سناریوی RCP4.5 به سناریوی RCP8.5 عکس شده است و میانگین دمای حداقل و حداکثر هر دو در این دوره کاهش می‌یابد و این موضوع می‌تواند نشان از بیابانی شدن هر چه بیشتر اقلیم منطقه در آینده دور باشد. میانگین کاهش بارش در مناطق مورد مطالعه از ۱۱ میلی‌متر تا ۲۲ میلیمتر محاسبه گردید.

نتایج کالیبراسیون و تعیین اعتبار مدل WOFOST حاکی از دقت بالای مدل در شبیه‌سازی عملکرد و مراحل فنولوژیکی سیب‌زمینی در مناطق مورد مطالعه بود بطوریکه مقدار RMSEn برای هر دو مورد در مناطق تحت مطالعه زیر ۱۰ درصد بود. طول مراحل فنولوژیکی (کاشت تا سبزشدن، سبزشدن تا گلدهی و سبزشدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی(برداشت) در دوره آینده تحت سناریوهای RCP کاهش می‌یابد.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی عملکرد غده سیب‌زمینی تحت شرایط اقلیم آینده حاکی از کاهش میزان عملکرد در مناطق مورد مطالعه بود. بیشترین کاهش عملکرد در دوره سوم و تحت سناریوی RCP8.5 مشاهده شد. بطور متوسط در مناطق مورد مطالعه به‌میزان ۱۴۷۳/۹ کیلوگرم در هکتار کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی مشاهده گردید. کاهش طول دوره رسیدگی سیب‌زمینی بیشترین سهم را در کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی دارد. نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی عملکرد غده سیب‌زمینی نشان می‌دهد که به‌موازات افزایش دما میزان عملکرد غده نیز کاهش می‌یابد و به‌ازای هر یک درجه سانتیگراد افزایش میانگین دمای سالانه، عملکرد غده به‌میزان ۴/۹۹ درصد کاهش خواهد یافت.

References

1- Advari, Z., Tadayon, M. R., & Arani Baghbani, A. (2019). Effect of Climate Change on potato Production and assessment adaptation strategies in Fereydounshahr. *Journal of Plant Process and Function*, 8,151-169. (In Persian with English Summary) http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1398.8.29.18.0

2- Bani Hashemi, S.(2012). Assessment of climate change and related damages in the country. *Quarterly Journal of Forests, Rangelands and Watershed Management Organization* 94 and 93, 13-5. (In Persian with English Summary)

3- Bayatani, F. (2019). Study of the effects of climate change on yield and water requirement of potato plant in Iran. PhD Dissertation, Faculty of Literature, *Hakim Sabzevari University of Sabzevar*, Iran. (In Persian with English Summary)

4- Darzi Naftchali, A., & Karandish, F.(2016). Rice cultivation management in Mazandaran Province under climate change . *Journal of Water Research in Agriculture*, 30, 33-346. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22092/jwra.2016.107154

5- Delghandi, M., Massah Bovani, A. R., Ajorlou, M. J., Broomandnasab, S., & Andarzian, B. (2014). Risk assessment of climate change impacts on production and phenology of wheat (case study: Ahvaz Region). *Journal of Water and Irrigation Management*, 4, 161-175. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22059/jwim.2014.53032

6- Esmaili, R., Ataie, H., & Falah Ghalhary, G. (2011). Evaluation of the effects of climate change on the possibility of developing two nucleated species of almond and apricot (Case study: Khorasan Razavi). *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 21, 162-145. (In Persian with English Summary)

7- Food and Agriculture Organization (FAO). (2019). *An FAO Perspective*. http://www.fao.org.

8- Food and Agriculture Organization (FAO). (2012). *Plant Production and Protection Paper* 17. FAO, Rome.

9- Fischer, G.F.N., Tubiello, H., Velthuizen, V., & Wiberg, D.A. (2007). Climate change impacts on irrigation water requirements. *Technological Forecasting & Social Change*, 74, 1083-1107. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.05.021

10- Gouache, C.H., Bris, X., Bogard, L.M., Deudon, O., Pagé, C.H., & Philippe, P.H. (2012). Evaluating agronomic adaptation options to increasing heat stress under climate change during wheat grain filling in France. *European Journal of Agronomy*, 39, 62-70. https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.01.009

11- Jafarpour, S., h. (2016). Investigating the effects of climate change on water demand and yield of major crops in Ardabil plain. Master Thesis, Faculty of Agriculture and Natural Resources, *Mohaghegh Ardabili University of Ardabil*, Iran. (In Persian with English Summary)

12- Khajehpour, M. R. (2008). Principles and foundations of agriculture. *Isfahan University Jihad Publications, Isfahan.*

13- Nazari, S. h., Taheriun, M., & Ahmadi, A. (2015). Investigation of the effects of climate change on temperature and precipitation in the catchment area of Mahabad Dam (using CanESM2 model), the second national conference on architecture. *New Urban Development, National Center of Iranian Architects*, Urmia, 5 October 2015. (In Persian with English Summary) https://civilica.com/doc/418378.

14- Supit, I., Hooyer, A.A., & Van Diepen, C. A. (1994). System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS. Vol. 1: Theory and algorithms. *EUR publication* 15956, Agricultural series, Luxembourg.

15- Taei Semiromi, S., Moradi, H. R., & Khodagholi, M. (2014). Simulation and prediction some of climate variable by using multi line SDSM and Global Circulation Models (Case study: Bar Watershed Nayshabour). *Human and Environment Quarter*ly, 28, 15-1. (In Persian with English Summary)

16- Taei Semiromi, J., Ghanbari, A., Amiri, I., Ghaffari, A. A., Siahsar, B., & Ayobi, Sh. (2012). Agroecological Zoning of Wheat in the Borujen Watershed: Rianfed and Irrigated Wheat Cropping System Evaluation. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 22(4), 12-1. (In Persian with English Summary)

17- Turkman, M. (2016). Investigating the effect of future warming and climate change on agricultural characteristics and potato production in Iran. PhD Dissertation, Faculty of Agriculture, *Ferdowsi University of Mashhad*, Iran.

18- Willby, R. L., Dawson, C. W., Barrow, E. M. (2002). SDSM a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Sof*tware, 17, 145-157. https://doi.org/10.1016/S1364-8152(01)00060-3

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

Research Article
Vol. 16, No. 1, 2024, p. 81--95

The Evaluation of Planting Direction on the Consumption of Resources and Soil Nutrients in Sunflower (*Helianthus annus* L.) and CowPea (*Phaseolus vulgaris* L.) Intercropping

Elham Vaziri[1], Mehdi Dahmardeh[2*] and Issa Khammari[3]

1- M.Sc, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
2- Associated Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
(*- Corresponding author's Email: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)

Received: 15-07-2022
Revised: 24-12-2022
Accepted: 28-12-2022
Available Online: 28-12-2022

How to cite this article:
Vaziri, E., Dahmardeh, M., & Khammari, I. (2024). The evaluation of planting direction on the consumption of resources and soil nutrients in sunflower (*Helianthus annus* L.) and cowpea (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping. *Journal of Agroecology*, *16*(1), 81-95. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2022.77648.1117

Introduction

Agriculture plays an essential role in providing food, and in order to achieve sustainability in the agricultural sector, resources must be used in the best possible way. In order to achieve the maximum possible yield, it is necessary for the crop plant to use the environmental factors, water, nutrients, light, and carbon dioxide, with the maximum possible efficiency. The maximum use of the required factors for growth is achieved only when the plant community exerts maximum pressure on these factors. In general, intercropping is one of the ways to achieve sustainable agriculture, with higher yields without increasing agricultural inputs, absorption, and environmental factors productivity. Researchers for the intercropping of corn and mung bean have reported that the mixed cultivation systems used environmental resources more effectively compared to the sole cropping of corn and mung bean. For this reason, nowadays, many plants, especially legumes, are cultivated in an intercropping form due to their ability to fix nitrogen. Due to the lack of resources regarding the effect of planting direction on plant yield, this study was conducted in order to evaluate resources and soil nutrients by changing the planting direction and replacing the intercropping system of the sunflower with cowpea.

Materials and Methods

This research was conducted in the field of the Agricultural Research Station of Zabol University during 2015-2016. The experiment was performed as a split-plot based on a randomized complete block design with three replications at the Research Farm of the Agricultural Research Institute of Zabol University. The main factor was two levels of planting direction (North-South and East-West), and the secondary factor was intercropping system in five levels, including (100% pure sunflower), (100% pure cowpea), (50% sunflower + 50% cowpea) (25% cowpea + 75% sunflower) and (75 % cowpea + 25%sunflower) were considered. Data for studied traits were measured as follows: radiation, temperature, volumetric humidity, calcium, phosphorus,

©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.2022.77648.1117

magnesium, potassium, and the land equality ratio. Statistical analysis including, analysis of variance and mean comparisons (least significant difference (LSD) test at the 5% level), were applied to evaluated traits.

Results and Discussion

The variance analysis results indicated a significant difference (P<0.01) for the active photosynthetic radiation trait. The maximum absorption of photosynthetically active radiation (PAR) was in the east-west cultivation direction (77.90%) compared to the north-south treatment, which was 24.6% more than the north-south direction. The analysis of variance indicated that the cultivation direction and intercropping systems on the amount of phosphorus in the soil after harvest were significant at 1% probability level. The comparison of means treatments showed that the amount of phosphorus in the soil in the direction of east-west cultivation was 15% higher compared to the direction of north-south cultivation.

The highest amount of soil potassium was obtained in the east-west treatment and the intercropping system of 50% sunflower plus 50% cowpea (24.7 ppm). The lowest amount of soil potassium (16.15 ppm) was obtained in the treatment of east-west cultivation and the intercropping system of 75% sunflower plus 25% cowpea. The relative advantage of intercropping is expressed by the land equivalent ratio. The increase in the ratio of equal land per unit shows the relative usefulness of intercropping compared to sole cropping of each of the mixed components. The comparison of means of the intercropping system showed that among the treatments, the mixture of 75% sunflower plus 25% cowpea had the highest land equivalent ratio (2.54).

Conclusion

It seems that in order to maintain humidity make maximum use of limited water resources, and obtain high yield, the intercropping system of 75% sunflower plus 25% cowpea and planting direction the prevailing wind of the region (east-west) should be suitable for this region and regions with similar climate and windy conditions.

Acknowledgments

We would like to thank the chairman and the respected staff of the Agricultural Research Institute of Zabul University, who sincerely accompanied us in the implementation of this thesis.

Keywords: Land equivalent ratio, PAR, Soil temperature, Soil moisture

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص ۹۵-۸۱

ارزیابی اثر جهت‌های کاشت بر مصرف منابع و عناصر غذایی خاک در کشت مخلوط آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)

الهام وزیری[۱]، مهدی دهمرده[۲]* و عیسی خمری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۷

چکیده:

به منظور بررسی اثر جهت‌های کاشت بر مصرف منابع و عناصر غذایی خاک در کشت مخلوط آفتابگردان(*Helianthus annuus* L.) و لوبیا چشم بلبلی(*Vigna unguiculata* L.) آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل اجرا گردید. عامل اصلی جهت کاشت در دو سطح (شمالی- جنوبی و شرقی- غربی) و سیستم کشت مخلوط به‌عنوان عامل فرعی در پنج سطح شامل: (۱۰۰ درصد آفتابگردان خالص)، (۱۰۰ درصد لوبیا خالص)، (۵۰ درصد آفتابگردان به‌علاوه ۵۰ درصد لوبیا)، (۲۵ درصد لوبیا به‌علاوه ۷۵ درصد آفتابگردان) و (۷۵ درصد لوبیا به‌علاوه ۲۵ درصد آفتابگردان) در نظر گرفته شد. صفات مورد بررسی در این پژوهش شامل تشعشع، دما، رطوبت حجمی، کلسیم، فسفر، منیزیم، پتاسیم و نسبت برابری زمین مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کاشت گیاهان در جهت خلاف جهت باد (شرقی- غربی) بیشترین میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی (۷۷/۹۰ درصد) و بیشترین رطوبت حجمی خاک (۶۳/۳۹ درصد) و کمترین دمای خاک (۲۶/۷۸ سانتی‌گراد) را داشت. بالاترین مقدار نسبت برابری زمین (۲/۵۴) از کشت مخلوط (۲۵ درصد لوبیا به‌علاوه ۷۵ درصد آفتابگردان) به‌دست آمد. نتایج تغییرات عناصر غذایی نشان داد که بیشترین مقدار پتاسیم خاک (۲۴/۷۰ میلی گرم بر کیلوگرم) در جهت کاشت شرقی- غربی و در کشت مخلوط ۵۰ درصد آفتابگردان به‌علاوه ۵۰ درصد لوبیا چشم بلبلی وجود داشت. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان کرد که در شرایط ویژه اقلیمی کنونی منطقه و مناطق مشابه با کشت گیاهان در جهت خلاف جهت باد و استفاده از نسبت کاشت ۷۵ درصد آفتابگردان به‌علاوه ۲۵ درصد لوبیا چشم بلبلی میزان عملکرد بیشتری نیز حاصل می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تشعشع فعال فتوسنتزی، دمای خاک، رطوبت خاک، نسبت برابری زمین

مقدمه

محدودیت اراضی مناسب کشاورزی و کاهش کیفیت خاک‌های زراعی به‌دلیل فرسایش منجر به محدودیت خاک به‌عنوان یکی از منابع در کشاورزی ایران و جهان شده است. در چند دهه اخیر تلاش شده تا با بهره‌گیری همزمان از اراضی با کشت مخلوط شرایط برای ثبات و پایداری در بوم‌نظام‌های کشاورزی حفظ شود (Ibrahim et al., 2014). کشت مخلوط یکی از روش‌ها و ابزارهای مورد استفاده در راه رسیدن به کشاورزی پایدار، با عملکرد بیشتر بدون افزایش نهاده‌های کشاورزی و افزایش جذب و بهره‌وری بیشتر از عوامل محیطی و مواد غذایی موجود در خاک است (Mansori et al., 2013). در زراعت‌های چندکشتی آنچه بیشتر مد نظر است، مهار

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳- استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2022.77648.1117

تغییرات زمانی و مکانی یا به عبارت دیگر، حداکثر استفاده از فصل رشد، آب، درجه حرارت، تشعشع و سایر منابع می‌باشد (Moradi et al., 2017). نظام‌های چندکشتی از ثبات اکولوژیکی بالاتری نسبت به نظام‌های تک‌کشتی برخوردار می‌باشند (Gonias et al., 2011). کشت مخلوط به‌عنوان نمونه‌ای از نظام‌های پایدار در کشاورزی اهدافی نظیر افزایش تنوع زیستی، کاهش خسارات ناشی از آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، بهره‌برداری بیشتر از منابع طبیعی، افزایش کمّی و کیفی عملکرد (Shobeiri et al., 2011)، ثبات عملکرد در شرایط نامطلوب محیطی، کنترل فرسایش خاک و ایجاد تنوع و ثبات در بوم‌نظام‌های زراعی را دنبال می‌کند (Kremer & Kussman, 2011).

یکی از راهکارهای بررسی بهره‌وری کشت مخلوط، استفاده از شاخص‌های سودمندی است. در بوم‌نظام کشت مخلوط، هر دو جمعیت گیاهی برای بهره‌برداری از منابع یکسان یا مشابه رقابت دارند (Moghbeli et al., 2019). رایج‌ترین روش استفاده شده برای ارزیابی سودمندی عملکرد در کشت مخلوط نسبت برابری زمین است. به‌وسیله این شاخص مشخص می‌شود که چه مقداری زمین به‌صورت تک کشتی مورد نیاز است تا همان مقدار محصول به‌صورت مخلوط به‌دست آید (Tsubo et al., 2011). نتایج مطالعات الهدادی و همکاران (Allahdadi et al., 2013)(روی کشت مخلوط ردیفی سویا (*Glycine max* L.) و همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) مؤید افزایش نسبت برابری زمین در الگوهای کشت مخلوط بود. در بررسی کشت مخلوط کنجد (*Sesamum indicum* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) بیان گردید که بالاترین میزان کارایی تشعشع در تیمار ۱۰۰ درصد کنجد به‌علاوه ۳۰ درصد نخود به‌دست آمد (Farzin et al., 2016). در صورتی که اجزای کشت مخلوط از نظر استفاده از منابع متفاوت باشند، می‌توانند استفاده مؤثرتری از تشعشع، آب و مواد غذایی نسبت به کشت خالص داشته باشند (Amini Machiani et al., 2018). به‌کارگیری تراکم‌های مطلوب دو گونه در کشت مخلوط موجب اشغال مناسب نیچ‌های خالی و افزایش جذب عناصر غذایی در واحد سطح و کاهش میزان تلفات می‌گردد که این امر می‌تواند در بهبود میزان کارایی استفاده از عناصر غذایی مؤثر باشد (Rezvani Moghadam & Seyedi, 2014).

در مناطقی که دارای بارندگی بسیار کم هستند، مهم‌ترین عاملی که باید در نظر گرفته شود، جهت بادهای غالب است. در مناطق خشک هند ردیف‌های شمال غربی- جنوب شرقی در زاویه عمود بر جهت بادهای غالب قرار دارند و انجام کشت بر روی پشته‌هایی که در این جهت احداث شده‌اند، موجب کاهش سرعت باد، کاهش دمای خاک (سطح) به‌میزان ۴-۳ درجه سانتی‌گراد، افزایش رطوبت نسبی و ذخیره آب در خاک به‌میزان ۴۰-۲۵ درصد می‌شوند که علت آن دمای کمتر خاک و کاهش سرعت باد و در مجموع، موجب افزایش عملکرد می‌باشد (Sharifi et al., 2017). از جمله تبعات فرسایش بادی می‌توان به کاهش حاصلخیزی خاک اشاره کرد (Kheirabadi et al., 2018; Sirjani et al., 2019). عواملی مانند رطوبت کم، پوشش گیاهی محدود، خصوصیات فیزیکی خاک و وقوع بادهای شدید احتمال فرسایش بادی را افزایش می‌دهد (Du et al., 2018). شاید بتوان چنین بیان کرد که اجرای الگوی کشت صحیح با مدیریت شرایط محیطی در بعد زمان و مکان (Moradi et al., 2017)، و حداکثر استفاده از فصل رشد، آب، درجه حرارت، تشعشع و سایر منابع (Amini Machiani et al., 2018)، از طریق انتخاب تراکم و جهت مناسب کشت امکان‌پذیر است (Morales et al., 2009). نتیجه برخی پژوهش‌ها در ارتباط با جهت‌های کاشت بیانگر آن است که جهت‌های کاشت می‌تواند بر روی میزان محصول ارقام از طریق افزایش سطح برگ و جذب تشعشع تأثیر داشته باشد (Nasser Alavi & Shamsuddin, 2008). در مناطق گرمسیری، استفاده بهینه از تشعشع خورشید از طریق انتخاب تراکم و جهت مناسب کشت امکان پذیر است (Morales et al., 2009). در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و ماش (*Vigna radiate* L.) محققین گزارش کردند که سیستم‌های کشت مخلوط در مقایسه با کشت‌های خالص ذرت و ماش از منابع محیطی به‌طور مؤثرتری استفاده کردند و در این رابطه، اجزای مخلوط مکمل هم بودند (Poggio, 2005).

یکی از موفق‌ترین سیستم‌های کشت مخلوط، سیستمی است که در آن بقولات در مخلوط با یک گیاه غیر بقولات کشت شده باشد (Rahmati et al., 2020; Moghbeli et al., 2019). کشت مخلوط می‌تواند به‌جهت تنوع محصولات و افزایش سود حاصله در واحد سطح و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد (Ibrahim et al., 2014). در این پژوهش، دو گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و لوبیا چشم بلبلی(*Vigna unguiculata* L.) به لحاظ تفاوت‌های رشدی و مورفولوژیکی و نیازهای اکولوژیکی متفاوت به‌منظور تأثیر کشت مخلوط و جهت‌های کاشت بر کارایی مصرف

منابع و عناصر غذایی خاک، و تعیین بهترین نسبت کشت مخلوط این دو گونه با توجه به بالاترین عملکرد و نسبت برابری زمین انتخاب شدند.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۶- ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل اجرا گردید. پژوهشکده کشاورزی در ۳۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان زابل با طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی، در ارتفاع ۴۸۰ متری از سطح دریا قرار دارد. آب و هوای منطقه براساس طبقه بندی کوپن جزو اقلیم‌های خشک بسیار گرم، با تابستان‌های گرم و خشک تقسیم بندی می‌شود (www.irimo.ir). بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی زهک میانگین درازمدت ۲۰ ساله بارندگی در منطقه ۶۳ میلی‌متر، پتانسیل تبخیر سالیانه به‌طور متوسط ۴۵۰۰ میلی‌متر، میانگین درازمدت حداکثر درجه حرارت ۲۳ درجه سانتی‌گراد و حداقل درجه حرارت ۷- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. قبل از شروع آزمایش، به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیای خاک محل آزمایش، نمونه خاک به‌صورت تصادفی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه گردید. خاک محل آزمایش دارای بافت لوم شنی و pH معادل ۷/۵ بود (جدول ۱).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1- Some physical and chemical traits of the soil

بافت Texture	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	نیتروژن N (%)	منیزیم Mg ($mg.kg^{-1}$)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	کلسیم Ca ($mg.kg^{-1}$)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH
لوم- شنی Sandy loam	42	28	30	0.07	0.1	10.4	148	10.8	1.6	7.5

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل‌های آزمایشی عبارت بودند از جهت کاشت در دو جهت شمالی- جنوبی و شرقی- غربی به‌عنوان عامل اصلی و سیستم کاشت مخلوط جایگزینی در پنج سطح شامل (۱۰۰ درصد آفتابگردان خالص)، (۱۰۰ درصد لوبیا خالص)، (۵۰ درصد آفتابگردان به‌علاوه ۵۰ درصد لوبیا)، (۲۵ درصد لوبیا به‌علاوه ۷۵ درصد آفتابگردان) و (۷۵ درصد لوبیا به‌علاوه ۲۵ درصد آفتابگردان) به‌عنوان عامل فرعی منظور شدند. ارقام مورد استفاده در این آزمایش آفتابگردان آجیلی رقم کانادایی با دوره رشد ۱۵۰-۸۰ روز و لوبیای چشم بلبلی از توده محلی (ماک) با دوره رشد ۱۸۰ روز بودند.

زمین مورد نظر در سال زراعی قبل تحت آیش بوده و در پاییز شخم عمیق زده شد. در اوایل اسفند برای خرد کردن کلوخه دو بار دیسک عمود بر هم اعمال شد و با استفاده ار دستگاه لولر تسطیح و سپس توسط فاروئر جوی پشته ایجاد شد. هر واحد آزمایشی با چهار ردیف کشت به‌طول دو متر بود. تمامی تیمارها به‌صورت یک ردیف آفتابگردان و یک ردیف لوبیای چشم بلبلی کشت شدند. کاشت بذور در محل داغ آب به‌صورت دستی و به‌روش کپه‌ای انجام گردید و در هر کپه، سه تا چهار بذر قرار داده شد. فاصله هر ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله کپه‌ها روی ردیف‌ها با توجه به نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی متفاوت بودند. عملیات کاشت هر دو گیاه به‌صورت هم‌زمان در نیمه دوم اسفند ماه به‌روش هیرم‌کاری انجام شد. یک سوم کود اوره به‌همراه کودهای فسفاته و پتاسه بر اساس ۲۰۰ کیلوگرم اوره، ۱۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۱۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم موقع کاشت و بقیه کود اوره طی دو تقسیط دو هفته بعد از جوانه‌زنی و قبل از گل‌دهی مصرف شد.

عملیات داشت شامل آبیاری، واکاری، تنک کردن و مبارزه با علف‌های هرز در طول دوره رشد انجام شد. برای مقایسه برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از شاخص نسبت برابری زمین استفاده شد. جهت تعیین تغییرات عناصر غذایی خاک بعد از برداشت نسبت به اندازه‌گیری عناصر غذایی خاک اقدام شد. کلسیم و منیزیم با استفاده از روش تیتراسیون، پتاسیم از روش عصاره‌گیری گل اشباع با استفاده از دستگاه جذب اتمی و فسفر هم به‌روش اولسن (Olsen & Sommers, 1982) در آزمایشگاه تحقیقات دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل اندازه‌گیری گردید. تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) در زیر سایه‌انداز گیاه بر اساس عدد ثبت شده با دستگاه تشعشع‌سنج مدل (DELTA-T DEVICES) ساخت کشور آمریکا اندازه‌گیری شد.

این دستگاه دارای میله حساس به تشعشع به‌طول یک متر برای اندازه‌گیری تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) در زیر تاج‌پوشش می‌باشد. اندازه‌گیری تشعشع در ظهر خورشیدی در ساعات ۱۱/۳۰ تا ۱۲/۳۰ و ۹۰ روز بعد از کاشت صورت گرفت. سنسور حساس نوری به طور کاملاً تراز درست در بین گیاهان در زیر تاج‌پوشش قرار گرفت. برای اندازه‌گیری دمای خاک از دماسنج مخصوص ساخت کشور فرانسه استفاده شد. برای این کار دماسنج در بین ردیف‌های کاشت در عمق ۱۵ سانتی‌متری قرار گرفت دمای خاک در تیمارهای مختلف آزمایش اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری دمای خاک در مرحله رشدی ۹۰ روز پس از کاشت (ساعت ۱۲) در ظهر روز بعد از هر آبیاری انجام گرفت. محتوای آب خاک در یک مرحله در طول دوره رشد، ۹۰ روز بعد از کاشت در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. برای این کار حجم مشخصی از خاک توسط رینگ استوانه‌ای با حجم مشخص (۱۰۰ سانتی‌مترمکعب) از هر تیمار انتخاب و بلافاصله این حجم خاک وزن گردید (وزن مرطوب) و سپس در دستگاه آون در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از ۴۸ ساعت جهت تعیین وزن خشک دوباره توزین گردید (وزن خشک). درصد رطوبت حجمی خاک هر تیمار آزمایش توسط معادله زیر محاسبه گردید (Rajaii et al., 2018).

$$Qt = \frac{Vm}{Vt}$$

معادله (۱)

که در آن، Qt: درصد رطوبت حجمی، Vm: حجم آب خاک (تفاوت وزن مرطوب و وزن خشک) و Vt: حجم کل نمونه خاک (۱۰۰ سانتی‌متر مکعب) می‌باشند.

برای ارزیابی سودمندی کشت مخلوط شاخص نسبت برابری زمین (LER) محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

جذب تشعشع فعال فتوسنتزی

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر جهت کاشت قرار گرفت، امّا تحت تأثیر سیستم‌های کشت مخلوط و اثرات متقابل معنی‌دار نبود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر شاخص‌های کارایی مصرف منابع محیطی

Table 2- The analysis of variance the effect of experimental treatments on environmental resource consumption efficiency indicators

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Means of squares: تشعشع فعال فتوسنتزی PAR	دمای خاک Soil temperature	رطوبت حجمی Volumetric humidity
بلوک Replication	2	290.68^{ns}	4.90^{ns}	87.89^{ns}
جهت کشت Planting direction (P)	1	2772.48**	456.30**	42.43^{ns}
خطای اصلی Error (a)	2	139.04	8.02	11.18
کشت مخلوط Intercropping (I)	4	185.03^{ns}	2.85^{ns}	369.38
P × I	4	119.002^{ns}	2.231^{ns}	23.51^{ns}
خطای فرعی Error (b)	16	106.31	7.41	32.47
ضریب تغییرات C.V (%)	-	5.09	8.87	9.16

ns: غیر معنی‌دار و **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns: Non significant different and **: significant at 1% probability level

بیشترین مقدار جذب تشعشع فعال فتوسنتزی در جهت کشت شرقی- غربی نسبت به تیمار شمالی- جنوبی در بالاترین میزان (۷۷/۹۰ درصد) بود که ۲۴/۶ درصد نسبت به جهت شمالی- جنوبی بیشتر بود (جدول ۳). معمولاً افزایش تراکم، شاخص سطح برگ کافی برای دریافت تشعشع نسبت به کشت خالص فراهم می‌کند. بنابراین، از آنجایی که در جهت شرقی- غربی سایه‌اندازی کم است (Sharifi et al., 2017)، گیاهان نسبت به جهت شمالی- جنوبی در طول روز تشعشع بیشتری دریافت می‌کنند.

جدول ۳- مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش بر شاخص‌های کارایی مصرف منابع محیطی

Table 3- Comparison of means treatments on environmental resource consumption efficiency indicators

تیمارهای آزمایشی Experimental treatments	تشعشع فعال فتوسنتزی PAR (%)	دمای خاک Soil temperature (°C)	رطوبت حجمی Volumetric humidity (%)
جهت کشت **Planting direction**			
شرقی- غربی East-West	77.9	26.78	63.39
شمالی- جنوبی North-south	58.67	34.58	61.01
LSD 5%	18.53	4.45	5.25
کشت مخلوط **Intercropping**			
خالص آفتابگردان Sole crop of sunflower	72.63	31.38	50.68
خالص لوبیا Sole crop of cowpea	75.65	30.65	69.70
۵۰٪ آفتابگردان + ۵۰٪ لوبیا 50% sunflower + 50% cowpea	63.65	30.18	66.28
۷۵٪ آفتابگردان + ۲۵٪ لوبیا 75% sunflower+25% cowpea	66.11	29.85	66.69
۲۵٪ آفتابگردان + ۷۵٪ لوبیا 25% sunflower + 75% cowpea	63.38	31.36	57.65
LSD 5%	13.73	3.62	6.97

در بررسی کشت مخلوط لوبیا و ذرت مشخص شد که کارایی مصرف تشعشع برای دو گیاه ذرت و لوبیا در کلیه تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از تک کشتی دو گونه بود. در واقع، در تک‌کشتی همواره مقادیری از تشعشعات فعال فتوسنتزی به‌دلیل وجود فضاهای خالی در سایه‌انداز گیاه تلف می‌شود، ولی در کشت مخلوط به‌دلیل پوشش بیشتر و سطح برگ مناسب‌تر این تلفات کاهش و در نتیجه، میزان جذب تشعشع کل نسبت به کشت خالص افزایش یابد. این مسئله سبب بهبود کارایی مصرف تشعشع و در نتیجه، باعث افزایش عملکرد می‌گردد (Mansori et at., 2013).

دمای خاک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که جهت کشت تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر دمای خاک داشت (جدول ۲). جهت شرقی- غربی کمترین (۲۶/۷۸ سانتی‌گراد) و جهت شمالی- جنوبی بیشترین دمای خاک (۳۴/۵۸ سانتی‌گراد) را داشتند (جدول ۳). با توجه به این که منطقه مورد تحقیق جزو مناطق خشک و نیمه خشک کشور می‌باشد، باد می‌تواند موجب تبخیر و تعرق و ایجاد تنش رطوبتی در گیاه گردد (Ernon, 1998). از آنجایی که جهت شمالی- جنوبی در جهت بادهای غالب این منطقه قرار دارد، بنابراین دمای خاک به‌دلیل کاهش رطوبت خاک در جهت شمالی- جنوبی افزایش پیدا کرده است. به نظر می‌رسد جهت شرقی- غربی که خلاف جهت باد غالب در منطقه بوده موجب کاهش سرعت باد و افزایش نگهداری آب در خاک گردید. در تحقیق دیگری، بررسی تأثیر جهت‌های کاشت بر دمای خاک نشان داد که اگر چه تفاوت آماری

معنی‌داری در تجزیه واریانس داده‌ها بین دمای خاک در جهت‌های شمالی- جنوبی با شرقی- غربی وجود نداشت، امّا مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که دمای خاک در جهت شمالی جنوبی بیشتر از جهت شرقی- غربی بود (Rigi et al., 2020).

رطوبت حجمی خاک

طبق نتایج به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که فقط سیستم کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر رطوبت حجمی خاک داشت (جدول ۲). جهت کشت تفاوت معنی‌داری بر میزان رطوبت حجمی خاک نشان نداد، امّا بیشترین مقدار رطوبت حجمی خاک در جهت شرقی- غربی به‌دست آمد که نسبت به جهت شمالی جنوبی حدود چهار درصد بیشتر بود (جدول ۳). بیشترین مقدار رطوبت حجمی مربوط به خالص لوبیا که با مخلوط ۷۵ درصد آفتابگردان و ۲۵ درصد لوبیا از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در شرایطی که رطوبت خاک مهم‌ترین عامل محدودکننده است، کشت مخلوط ممکن است هم سودمندی مکانی و هم زمانی در استفاده از آب داشته باشد. در کشت مخلوط افزایش دریافت آب از خاک می‌تواند به‌دلیل افزایش تراکم ریشه‌ها وگسترش آن‌ها در افق‌های مختلف خاک باشد. همچنین، کشت مخلوط به‌دلیل تاج پوشش گسترده‌تر نسبت به کشت خالص، دمای خاک کمتر و در نتیجه، تبخیر از سطح خاک کاهش می‌یابد و موجب کاهش هدرروی آب می‌گردد (Saudy & Elmetwally, 2009).

ارزیابی عناصر غذایی خاک

منیزیم

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس عنصر منیزیم تحت تأثیر جهت کشت در سطح احتمال پنج درصد و سیستم کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۴).

جدول ٤- تجزیه واریانس بر صفات کیفی آفتابگردان

Table 4- The analysis of variance on the qualitative traits of sunflower

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Means of squares: منیزیم Mg	فسفر P	کلسیم Ca	پتاسیم K
بلوک Replication	2	1.76^{ns}	0.00024^{ns}	133.98^{ns}	7.88^{ns}
جهت کشت Planting direction (P)	1	139.75*	0.0040**	906.84**	4.12^{ns}
خطای اصلی Error (a)	2	1.88	0.00056	5.438	8.74
کشت مخلوط Intercropping (I)	4	505.39**	0.0093**	46.03^{ns}	15.45^{ns}
کشت مخلوط × جهت کشت P × I	4	28.73^{ns}	0.00002^{ns}	160.84**	26.82**
خطای فرعی Error (b)	16	33.35	0.00014	23.67	4.12
ضریب پراکندگی C.V (%)	-	13.83	9.54	5.05	10.42

ns: غیر معنی‌دار و **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns: Non significant different and **: significant at 1% probability level

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که جهت شرقی- غربی با میزان منیزیم ۳۷/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به جهت شمالی جنوبی ۳۲/۷۳ به‌میزان ۱۳ درصد از منیزیم بیشتری برخوردار بود (جدول ۵). در بین سیستم‌های کشت تیمار خالص لوبیا (۵۰/۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشترین مقدار منیزیم را نشان داد. در بین کشت‌های مخلوط تیمار ۵۰ درصد لوبیا به‌علاوه ۵۰ درصد آفتابگردان با مقدار ۳۶/۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بالاترین میزان منیزیم را داشت.کمترین میزان منیزیم در تیمار ۷۵ درصد آفتابگردان به‌علاوه ۲۵ درصد لوبیا

بود که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار ۲۵ درصد آفتابگردان به‌علاوه ۷۵ درصد لوبیا نداشت (جدول ۵). احتمالاً افزایش میزان منیزیم خاک در جهت کشت شرقی- غربی باعث کاهش سرعت باد و همچنین، جلوگیری از اثرات مخرب فرسایش بادی و حفظ حاصلخیزی خاک شده است. از جمله تبعات فرسایش بادی می‌توان به کاهش حاصلخیزی خاک اشاره کرد (Kheirabadi et al., 2018; Sirjani et al., 2019). جذب و استفاده از عناصر غذایی توسط گیاهان زراعی باید تا حد امکان با کارآیی بالا صورت بگیرد. این امر در سیستم‌های کشت مخلوط می‌تواند با اثرات مکملی و تسهیل-کنندگی دو گونه تحقق یابد.

جدول ۵- مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش بر عناصر غذایی خاک

Table 5- Comparison of means experiments treatments on soil nutrients

تیمارهای آزمایش Experiment treatments	منیزیم Mg (mg.kg^{-1})	فسفر P (mg.kg^{-1})
جهت کاشت **Planting direction**		
شرقی– غربی East-west	37.04	0.13
شمالی– جنوبی North-south	32.73	0.11
LSD 5%	2.16	0.037
کشت مخلوط **Intercropping**		
خالص آفتابگردان Sole crop of sunflower	31.75	0.081
خالص لوبیا Sole crop of cowpea	50.11	0.081
۵۰٪ آفتابگردان + ۵۰٪ لوبیا 50% sunflower + 50% cowpea	36.22	0.145
۷۵٪ آفتابگردان + ۲۵٪ لوبیا 75% sunflower + 25% cowpea	29.45	0.15
۲۵٪ آفتابگردان + ۷۵٪ لوبیا 25% sunflower + 75% cowpea	26.90	0.16
LSD 5%	5.91	0.014

probability level.

اسکندری و قنبری (Eskandari & Ghanbari, 2011) در کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم بلبلی نشان دادند که جذب عناصر غذایی کلسیم، منیزیم، پتاسیم و فسفر در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش یافت. افزایش جذب مواد غذایی بر اثر تلقیح با باکتری‌های محرک رشد را می‌توان به تغییرات مورفولوژیکی در ریشه گیاهان به‌ویژه افزایش تعداد، طول، ضخامت ریشه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالای ریشه گیاهان تلقیح شده نسبت داد (Mahanta et al., 2014). قارچ‌های میکوریزا با نفوذ در منافذ ریز خاک که مقدار آب قابل جذب بالاتری نیز دارند، موجب افزایش جذب عناصر غذایی می-شود (Seyed sharifi & Namvar, 2015).

فسفر

نتایج به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که جهت کشت و سیستم‌های کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر میزان فسفر خاک پس از برداشت داشت. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که میزان فسفر خاک در جهت کشت شرقی- غربی به‌میزان ۱۵ درصد بیشتر از جهت کشت شمالی- جنوبی بود. همچنین، مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که در بین سیستم‌های کشت مخلوط به‌ترتیب ۲۵ درصد آفتابگردان به‌علاوه ۷۵ درصد لوبیا (۰/۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و ۷۵ درصد آفتابگردان به‌علاوه ۲۵ درصد لوبیا (۰/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بالاترین میزان فسفر را به خود اختصاص دادند که نسبت به کشت

خالص تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۵). می‌توان چنین نتیجه گرفت که افزایش میزان فسفر خاک در جهت کشت شرقی- غربی که عمود بر جهت باد غالب و فرساینده قرار دارد، باعث تقلیل سرعت باد و همچنین جلوگیری از اثرات مخرب فرسایش بادی و حفظ حاصلخیزی خاک شده است. از جمله تبعات فرسایش بادی می‌توان به کاهش حاصلخیزی خاک اشاره کرد (Kheirabadi et al., 2018; Sirjani et al., 2019). عواملی مانند رطوبت کم، پوشش گیاهی محدود، خصوصیات فیزیکی خاک و وقوع بادهای شدید احتمال فرسایش بادی را افزایش می‌دهد (Du et al., 2018). شاید بتوان چنین بیان کرد که اجرای الگوی کشت صحیح با مدیریت شرایط محیطی در بعد زمان و مکان (Moradi et al., 2017)، و حداکثر استفاده از فصل رشد، آب، درجه حرارت، تشعشع و سایر منابع (Amini Machiani et al., 2018)، از طریق انتخاب تراکم و جهت مناسب کشت امکان‌پذیر است (Morales et al., 2009).

جذب عناصر غذایی در سیستم‌های کشت مخلوط می‌تواند با اثرات مکملی اجزای کشت مخلوط در جستجوی عناصر غذایی در طول پروفیل خاک، به‌دلیل تفاوت در عمق توسعه ریشه و یا تفاوت در طول دوره رشد تحقق یابد. برخی پژوهشگران بر این باورند که نقش اصلی قارچ میکوریزا دسترسی بیشتر به عناصری از قبیل فسفر است (Weisanny et al., 2016). افزایش فسفر در ریزوسفر ممکن است به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز در ریشه و خاک سبب افزایش جذب فسفر در کشت مخلوط و آزادسازی آن در خاک گردد (Seyed Sharifi & Namvar, 2015). در کشت مخلوط آفتابگردان و گونه‌ای از سیر (*Allium sativum* L.)عنوان شده است که همزیستی میکوریزایی، سبب افزایش جذب عناصر غذایی کم تحرک همچون فسفر شده و آن‌ها را به‌صورت قابل جذب برای گیاه در می‌آورد (Zhanga et al., 2019). ویسانی و همکاران (Weisanny et al., 2016) در کشت مخلوط شوید(*Anethum graveolens* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)گزارش کردند که میزان عنصر فسفر در کشت مخلوط با کاربرد قارچ میکوریزا بیشتر از کشت خالص بود.

کلسیم

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر جهت کشت و اثر متقابل آن با نسبت‌های کشت مخلوط بر میزان کلسیم خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). با بررسی جدول مقایسه میانگین تیمارها مشخص گردید که بیشترین میزان کلسیم خاک در تیمار کشت شرقی- غربی و کشت مخلوط ۷۵ درصد آفتابگردان به‌علاوه ۲۵ درصد لوبیا (۱۱۰/۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌دست آمد. کمترین مقدار کلسیم خاک در تیمار کشت شرقی- غربی و کشت خالص لوبیا (۸۴/۷۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌دست آمد (جدول ۶).

نتایج حاصل از کشت مخلوط آفتابگردان و لوبیا نشان داد که جذب کلسیم در کشت‌های مخلوط به‌طور معنی‌داری بیشتر از خالص آفتابگردان و لوبیا در جهت کشت شرقی- غربی است و عنصر کلسیم در کشت خالص لوبیا (۸۴/۷۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مقایسه با کشت خالص آفتابگردان (۹۵/۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌میزان بیشتری جذب شدند (جدول ۶)، که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Eskandari & Ghanbari, 2011). با افزایش فعالیت ریزجانداران (باکتری *سودوموناس*)، رشد بهتر گیاه و جذب بهتر عناصر غذایی به‌خصوص کلسیم فراهم می‌گردد (Habibi et al., 2017).

پتاسیم

با توجه به نتایج تجزیه واریانس مشخص گردید که اثر متقابل جهت کشت در نسبت‌های کشت مخلوط اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر میزان پتاسیم خاک داشت (جدول ۴). بیشترین میزان پتاسیم خاک در تیمار شرقی غربی و کشت مخلوط ۵۰ درصد آفتابگردان به‌علاوه ۵۰ درصد لوبیا (۲۴/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌دست آمد. کمترین مقدار پتاسیم خاک (۱۶/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار کشت شرقی- غربی و نسبت مخلوط ۷۵ درصد آفتابگردان به‌علاوه ۲۵ درصد لوبیا به‌دست آمد (جدول ۶). به نظر می‌رسد کمبود آب در خاک در جهت کشت شمالی- جنوبی از طریق اثر بر رشد ریشه و تحرک عناصر غذایی در خاک در جذب عناصر معدنی توسط گیاهان مؤثر باشد. به‌کارگیری تراکم‌های مطلوب دو گونه در کشت مخلوط موجب اشغال مناسب نیچ‌های خالی و افزایش جذب عناصر غذایی در واحد سطح و کاهش میزان تلفات می‌گردد که این امر می‌تواند در بهبود میزان کارایی استفاده از عناصر غذایی مؤثر باشد (Rezvani Moghadam & Seyedi, 2014). در پژوهشی که به‌منظور بررسی میزان پتاسیم خاک بعد از برداشت محصول انجام گردید، مشخص شد که بیشترین و کمترین میزان پتاسیم خاک به‌ترتیب در کشت خالص لوبیا چشم بلبلی و کشت خالص ذرت

به‌دست آمد و در بین سیستم‌های کشت مخلوط، کشت مخلوط ۱۰۰ درصد ذرت به‌علاوه ۱۰۰ درصد لوبیا چشم بلبلی بالاترین میزان پتاسیم خاک را به خود اختصاص داد (Dahmardeh, 2010).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر پتاسیم خاک

Table 6- The comparison of means interaction effects of experimental treatments on soil potassium

تیمارهای آزمایشی Experimental treatments		کلسیم Ca ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)
جهت کشت Planting direction	سیستم کشت مخلوط Intercropping system		
شرقی- غربی East-west	خالص آفتابگردان Sole crop of sunflower	95.20	21.57
	خالص لوبیا Sole crop of cowpea	84.73	18.66
	۵۰٪ آفتابگردان + ۵۰٪ لوبیا 50% sunflower + 50% cowpea	92.68	24.70
	۷۵٪ آفتابگردان + ۲۵٪ لوبیا 75% sunflower + 25% cowpea	110.14	16.15
	۲۵٪ آفتابگردان + ۷۵٪ لوبیا 25% sunflower + 75% cowpea	103.72	18.19
شمالی- جنوبی North-south	خالص آفتابگردان Sole crop of sunflower	94.99	17.75
	خالص لوبیا Sole crop of cowpea	86.76	22.01
	۵۰٪ آفتابگردان + ۵۰٪ لوبیا 50% sunflower + 50% cowpea	92.68	18.16
	۷۵٪ آفتابگردان + ۲۵٪ لوبیا 75% sunflower + 25% cowpea	105.05	18.22
	۲۵٪ آفتابگردان + ۷۵٪ لوبیا 25% sunflower + 75% cowpea	97.27	19.41
LSD 5%	-	9.76	3.51

در کشت مخلوط، ترشحات ریشه دو گیاه در محیط رایزوسفر موجب افزایش جذب و فراهمی عناصر غذایی می‌شود. این افزایش را می‌توان به نقش باکتری‌های آزادکننده پتاسیم و قارچ مایکوریزا نسبت داد. پارسا مطلق و همکاران (Parsa-Motlagh et al., 2016) در بررسی تأثیر قارچ میکوریزا بر عناصر غذایی لوبیا مشاهده کردند که قارچ مایکوریزا منجر به افزایش غلظت عنصر پتاسیم برگ لوبیا شد.

نسبت برابری زمین

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، نسبت برابری زمین کل تحت تأثیر سیستم کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت، امّا تحت تأثیر جهت کشت و اثرات متقابل معنی‌دار نبود (جدول ۷).

مقایسه میانگین سیستم کشت مخلوط نشان داد که در بین تیمارها، مخلوط ۷۵ درصد آفتابگردان به‌علاوه ۲۵ درصد لوبیا بالاترین میزان نسبت برابری زمین (۲/۵۴) را داشت (جدول ۸)، که نشان‌دهنده مکمل بودن این دو گیاه در استفاده از عناصر غذایی است و اینکه هر یک از اجزا در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در استفاده از منابع موفق بوده‌اند.

جدول ۷- تجزیه واریانس نسبت برابری زمین در آزمایش کشت مخلوط آفتابگردان و لوبیای محلی

Table 7- Analysis of variance of LER in sunflower and local cowpea intercropping experiment

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Means of squares		
		نسبت برابری زمین لوبیا LER cowpea	نسبت برابری زمین آفتابگردان LER sunflower	نسبت برابری زمین کل Total LER
بلوک Replication	2	0.01	0.10	0.17
جهت کشت Planting direction (P)	1	0.0002 ns	0.10 ns	0.11 ns
خطای اصلی Error (a)	2	0.002	0.01	0.02
کشت مخلوط Intercropping (I)	2	0.03 *	6.14 **	5.36 **
P × I	2	0.003 ns	0.02 ns	0.04 ns
خطای فرعی Error (b)	4	0.001	0.01	0.03
ضریب پراکندگی C.V (%)	-	6.68	8.71	13.95

ns: غیر معنی‌دار و **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns: Non significant different and **: significant at 1% probability level

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های اثر جهت کشت و نسبت‌های کشت برای نسبت برابری زمین

Table 8- Means comparison of the effect of cultivation direction and cultivation ratios for the ratio of land equality

تیمارهای آزمایش Experiment treatments	نسبت برابری زمین لوبیا LER cowpea	نسبت برابری زمین آفتابگردان LER sunflower	نسبت برابری زمین کل Total LER
جهت کاشت Planting direction			
شرقی– غربی East-west	0.23	1.39	1.62
شمالی– جنوبی North-south	0.22	1.24	1.46
LSD 5%	0.14	0.25	0.33
کشت مخلوط Intercropping			
۵۰٪ آفتابگردان + ۵۰٪ لوبیا 50% sunflower + 50% cowpea	0.31	0.35	0.66
۷۵٪ آفتابگردان + ۲۵٪ لوبیا 75% sunflower + 25% cowpea	0.19	2.37	2.54
۲۵٪ آفتابگردان + ۷۵٪ لوبیا 25% sunflower + 75% cowpea	0.17	1.23	1.42
LSD 5%	0.05	0.20	0.27

سرعت رشد گیاه زراعی، تراکم کاشت، تفاوت در عمق توسعه و تراکم ریشه از عواملی هستند که بر میزان رقابت بین اجزای کشت مخلوط در مصرف عناصر غذایی تأثیر می‌گذارند. نتایج به‌دست آمده با مطالعات دهمرده (Dahmardeh, 2010) مطابقت دارد. وی اعلام کرد که در کشت مخلوط ذرت و ماش کشت مخلوط ۷۵ درصد ذرت به‌علاوه ۲۵ درصد ماش با مقدار ۱/۴۲ بالاترین مقدار نسبت برابری

زمین را دارند. سادی و المتولی (Saudy & Elmetwally, 2009) طی آزمایشی اعلام کردند که با کشت مخلوط آفتابگردان و سویا مقدار LER به ۱/۳۷ رسید. نتایج مطالعات الهدادی و همکاران (Allahdadi et al., 2013) روی کشت مخلوط ردیفی سویا و همیشه بهار مؤید افزایش نسبت برابری زمین در الگوهای کشت مخلوط بود. به‌طور کلی، مدیریت خشکسالی را باید به‌عنوان یک عامل جامع و کلیدی در راستای کشاورزی پایدار در نظر گرفت. بنابراین، کشاورزان باید به‌سمت حفظ خاک، اقلیم و کشاورزی بوم‌سازگار تشویق شوند.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی و رطوبت حجمی خاک در جهت کاشت شرقی- غربی حاصل گردید. در بین کشت‌های مخلوط تیمار ۷۵ درصد آفتابگردان به‌علاوه ۲۵ درصد لوبیا بالاترین میزان نسبت برابری زمین را به خود اختصاص داد. به نظر می‌رسد که جهت حفظ رطوبت و استفاده حداکثری از منابع محدود آب و کسب عملکرد بالا کشت مخلوط ۷۵ درصد آفتابگردان به‌علاوه ۲۵ درصد لوبیا و کاشت در جهت خلاف باد غالب منطقه (شرقی- غربی) برای این منطقه و مناطق مشابه شرایط اقلیمی و بادخیز کشور مناسب باشد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از رئیس و کارکنان محترم پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل که صمیمانه در اجرای این پایان نامه ما را همراهی نمودند تشکر می‌نماییم.

References

1. Allahdadi, M., Shakiba, M.R., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., & Amini, R., (2013). Evaluation of yield and advantages of soybean (*Glycine max* L.) Merrill.) and calendula (*Calendula officinalis* L.) intercropping systems. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*, *23*(3), 47-58. (In Persian with English abstract)
2. Amini Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M.R., & Maggi, F., (2018). Evaluation of competition, essential oil quality and quantity of peppermint intercropped with soybean. *Industrial Crops and Products*, *111*, 743-754. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.052
3. Dahmardeh, M., (2010). The study of ecophysiological aspects of maize crop and bean pollen production on the quality and quantity of single wheat maize forage. 704. Ph.D. dissertation of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran. (In Persian with English abstract)
4. Du, H., Wang, T., Xue, X., & Li, S., (2018). Modelling of sand/dust emission in Northern China from 2001 to 2014. Geoderma *330*,162-17. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.05.038
5. Ernon, I., (1998). Principles and operations of agriculture in arid, Small, AS, & Soltani, A. (Translator), Publishing Agricultural Education (In Persian)
6. Eskandari, H., & Ghanbari, A., (2011).Evaluation of competition and complementary components of maize (*Zea mays*) and *Vigna sinensis* beans on nutrient utilization. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *21*(2),75-68.
7. Eskandari, H., & Ghanbari, A., (2011). Evaluation of competition and corn (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vignu sinesis* L.) intercropping for nutrient consumption. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *21*(2), 67-75. (In Persian with English abstract)
8. Farzin, P.A., Hosseinpanahi, F., & Alizadeh, Y., (2016). Evaluation the effect of different planting combinations on radiation absorption and use efficiency in sesame and chickpea intercropping in an additive series. *Ecological Agriculture*, *6*(1), 81-97. (In Persian)
9. Gonias, E.D., Oosterhuis, D.M., & Bibi, A.C., (2011). Light interception and radiation use efficiency of okra and normal leaf cotton isolines. *Environmental and Experimental Botany*, *72*, 217-222.
10. Habibi, H., Motesharezadeh, B., & Alikhani, H.A., 2017. Effect of biochar and biological treatments on nutrient elements content (P, K, Ca, Mg, Fe and Mn) of *Amaranthus* in oil polluted soil. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *48*(2), 369-384. (In Persian with English abstract)
11. Ibrahim, M., Ayub, M., Maqbool, M.M., Nadeem, S.M., Tanver-Ul-Haq, T., Hussain, S., Ali, A., & Lauriault, L.M., (2014). Forage yield components of irrigated maize-legume mixtures at varied seed ratios. *Field Crops*

Research, *169*, 140-144.

12. Kheirabadi, H., Mahmoodabadi, M., Jalali, V., & Naghavi, H., (2018). Sediment flux, wind erosion and net erosion influenced by soil bed length, wind velocity and aggregate size distribution. *Geoderma*, *323*, 22-30. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.042
13. Kremer, R.J., & Kussman. R.J., (2011). Soil quality in a pecan–kura clover alley cropping system in the Midwestern USA. *Agroforest System*, *93*, 213 -223.
14. Mahanta, D., Rai, R.K., Mishra, S.D., Raja, A., Purakayastha, T.J., & Varghese, E., (2014). Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. *Field Crops Research*, *166*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.016
15. Mansori, H., Mansori, L., Jamshidi, K., Rastgo, M., & Moradi, R., (2013). Absorption and efficiency of light use in additive intercropping bean and maize in zanjan region. *Journal of Crop Production and Processing*, *3*(9), 15-26.
16. Moghbeli, T., Bolandnazar, S., Panahande, J., & Raei, Y., (2019). Evaluation of yield and its components on onion and fenugreek intercropping ratios in different planting densities. *Journal of Cleaner Production*, *213*, 634-641. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.138
17. Moradi, R., Koocheki, A., & Nasiri Mahallati, M., (2017). Evaluation of economical yield and radiation use efficiency of maize and cotton in sole and intercropping systems as affected by different levels of Nitrogen. *Journal of Crop Production and Processing*, *7* (2), 47-59. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.7.2.47
18. 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 Agro Ecosystems*, *10*, 431 – 439.
19. Nasser Alavi, S.M., & Shamsuddin Saeed, M., 2008. Effect of planting direction and density on grain yield and seed sorghum in Bam. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *12* (45): 97-91.
20. Olsen, S.R., & Sommers, L.E., (1982). Phosphorus. pp. 416-418. Methods of soil analysis, part2. Agron. Monggr. 9.2nd ed. ASA and SSSA, Madiso, WI.
21. Parsa-Motlagh, B., Mahmoodi, S., Sayyari-Zahan, M. & Naghizadeh, M., (2016). Effect of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer on concentration of leaf nutrients and photosynthetic pigments of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress condition. *Journal of Agroecology*, *3*(2), 233-244. (In Persian with English abstract)
22. Poggio, S.L., 2005. Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley. *Agriculture Ecosystems and Environment*, *109*, 48-58.
23. Rahmati, E., Khalesro, S., & Heidari, G., (2020). Improving quantitative and qualitative yield of black cumin (*Nigella sativa* L.) in intercropping with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Agroecology*, *11*(4), 1261-1273. (In Persian with English abstract). https://doi/ 20.1001.1.20087713.1398.11.4.5.6
24. Rajaii, M., Dahmardeh, M., Khammari, I., & Keshtegar, B., (2018). The effect of planting pattern and vermicompost on the changes in soil nutrients and use of environmental resources in intercropping of corn (*Zea mays* L.), peanut (*Arachis hypogaea* L.) and borage (*Borago officinalis* L.). *Journal of Agroecology*, *10*(2), 547-564. (In Persian with English abstract). https://doi/10.22067/jag.v10i2.62071
25. Rezvani Moghaddam, P., & Seyedi, M., (2014). The role of organic and biological fertilizers in phosphorus and potassium uptake by *Nigella sativa*. *Horticultural Sciences*, *28* (1), 43-53. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2014.6196
26. Rigi, F., Dahmardeh, M., Khammari, I., & Bagheri, R., (2020). The effect of optimum nitrogen management and planting directions on eco morphological characteristics, yield and yield components of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Agronomy*, *11*(4), 1357-1374. https://doi/10.22067/jag.v11i4.74229
27. Saudy, H.S., & Elmetwally, I.M., (2009). Weed management under different patterns of sunflower–soybean intercropping. *Journal of Central European Agriculture*, *10*, 41-52.
28. Seyed Sharifi, R., & Namvar, A, (2015). Bio fertilizers in agronomy. University of Mohaghegh Ardabili, Ph.D. Dissertation, P, 280. (In Persian with English abstract)
29. Sharifi, S., Remurodi, M., Nasiri Mahallati, M., Golvi, M., & Kamali, G., (2017). Study of moisture and crop production in various climates of Iran. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *27* (1), 120-

104.
30. Shobeiri, S. S., Habibi, D., Kashani, A., Pak Nejad, F., Jafari, H., & Lamei, J., (2011). Study of dry forage yield and quality of hairy vetch and triticale in pure stand and mixed cropping. *Crop Science*, *13*, 269-281.
31. Sirjani, E., Sameni, A., Moosavi, A., Mahmoodabadi, M., & Laurent, B., (2019). Portable wind tunnel experiments to study soil erosion by wind and its link to soil properties in the Fars province, Iran. *Geoderma*, *333*, 69-80. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.012
32. Tsubo, M., Walker, S., & Mukhala, E., 2011. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. *Field Crops Research*, *71*, 17-29.
33. Weisanny, W., Raei, Y., Zehtab-Salmasi, S., Sohrabi, Y. & Ghassemi-Golezani, K., (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi induced changes in rhizosphere, essential oil and mineral nutrients uptake in dill/common bean intercropping system. *Annals of Applied Biology*, 1-14.
34. Zhanga, Y., Hua, J., Bai, J.F., Qin, H., Wang, J., Wang, J. & Lin, X., (2019). Intercropping with sunflower and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi promotes growth of garlic chive in metal-contaminated soil at a WEEE- recycling site. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *167*, 376-384.

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

Research Article
Vol. 16, No. 1, 2024, p. 97-113

The Effect of Animal Manure and Humic Acid on Some Physiological Traits of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Under Irrigation Water Salinity Conditions

Mahboobeh Sardar[1], Mohammad Ali Behdani[2*], Seyd Vahid Eslami[3] and Gholam Reza Zamani[3]

1, PhD Student, 2 and 3, Professor and Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran, respectively.
(*- Corresponding author's Email: mabehdani@birjand.ac.ir)

Received: 19-07-2022
Revised: 17-09-2022
Accepted: 25-10-2022
Available Online: 25-10-2022

How to cite this article:
Sardar, M., Behdani, M. A., Eslami, S.V., & Zamani G. (2024). The Effect of Animal Manure and Humic Acid on Some Physiological Traits of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Under Irrigation Water Salinity Conditions. *Journal of Agroecology, 16*(1), 97-113. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/agry.2022.77656.1118

Introduction

Salinity stress is an important abiotic stress threatening the production of cotton in arid and semi-arid regions of the country and the world, which can be reduced by the proper use of organic materials. Cotton is the most important fiber product, which is widely cultivated for agricultural and industrial purposes in temperate and hot regions of more than 15 countries of the world. Although cotton is known as a salinity-tolerant plant, not only is the resistance to salinity limited in this plant, but different stages of development also show different reactions to salinity. One of the effects of stress is disturbing the nutritional balance in the plant. Proper nutrition during times of stress can partially help the plant deal with various environmental stresses. In this regard, by using fertilizers containing micronutrient elements, firstly, plant yield increases, secondly, increasing the concentration of these elements in agricultural products plays an important role in improving the quality of food consumption. Using organic fertilizers, especially organic and animal manure such as humic acid, can improve the performance and performance components of different products under stress conditions.

Materials and Methods

To study the effect of manure and humic acid on some of the physiological qualities of cotton under salt water salinity stress, an experiment was conducted as factorial split plots (factorial split plot) in which different levels of irrigation water salinity at three levels (2.5, 5.5 and 8.5 $ds.m^{-1}$) as the main factor and two treatments of manure at two levels (0 and 20 t/h) and humic acid at two levels (0 and 200 gr/100 kg of seeds) as sub-factor in 4 replications in a farm located in Boshrouyeh city in 1398 years. The software SAS (V9.1) and Excel were used to analyze the data and draw the figures. Means were compared using the FLSD test at a 5% probability level.

Results and Discussion

Analysis of variance results showed that the simple effects of three experimental factors (salinity stress, manure, and humic acid) were significant on all studied traits (on the relative water content, Electrical conductivity and membrane stability, chlorophyll a and b contents, and proline content). With increasing salinity level, increased proline content (286.5%), membrane Electrical conductivity (4.2%) and carotenoids (88.79%)

©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.2022.77656.1118

and decreased chlorophyll a (20.7 1 %) and b content (39.38%), relative water content (23.16%) and membrane stability (13.54%). The application of animal manure and humic acid increased the relative water content, membrane stability and chlorophyll content under stress conditions, which indicates the modifying effect of these fertilizers in reducing the adverse effects of salinity stress. The interaction effects were significant, too.

Conclusion

The results of this research showed that the use of water with high salinity, such as salinity of 8 $ds.m^{-1}$, caused significant changes in the physiological traits of the plant, including relative leaf water content, membrane stability, membrane electrolyte leakage, chlorophylls, and proline. With increasing salinity levels, the amount of proline, membrane electrolyte leakage, and carotenoid increased, and the content of chlorophyll a and b, relative water content, and membrane stability decreased. The application of animal manure and humic acid increased the relative water content, membrane stability, and chlorophyll content under stress conditions, which indicates the moderating effect of these fertilizers in reducing the adverse effects of salinity stress. Considering the positive effects of using organic fertilizers in this experiment, it is recommended to test and investigate the use of humic acid during the growing season in addition to the use of animal manure before planting and the use of humic acid in bulk Thus, it is suggested to use humic acid and animal manure in cotton cultivation to adjust the salinity levels.

Keywords: Chlorophyll, Electrical conductivity, Proline, Relative water content

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص ۱۱۳-۹۷

تأثیر کود دامی و اسید هیومیک بر برخی صفات فیزیولوژیک پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) در شرایط شوری آب آبیاری

محبوبه سردار[۱]، محمدعلی بهدانی[۲*]، سیدوحید اسلامی[۳] و غلامرضا زمانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۳

چکیده

تنش شوری، یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی تهدیدکننده تولید پنبه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور و جهان می‌باشد که با کاربرد مناسب مواد آلی می‌توان از تبعات آن کاست. به‌همین منظور، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه‌ای واقع در شهرستان بشرویه در سال ۱۳۹۸ انجام شد. سطوح مختلف شوری آب آبیاری در سه سطح (۲/۵، ۵/۵ و ۸/۵ دسی زیمنس بر متر) به‌عنوان فاکتور اصلی و دو تیمار کود دامی در دو سطح (صفر و ۲۰ تن در هکتار) و اسید هیومیک در دو سطح (صفر و ۲۰۰ گرم برای ۱۰۰ کیلوگرم بذر به‌صورت بذرمال) به‌عنوان فاکتورهای فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به نتایج، اثرات اصلی تنش شوری، کود دامی و اسید هیومیک بر محتوای نسبی آب، نشت الکترولیت و پایداری غشا، کلروفیل‌ها و پرولین معنی‌دار شد. با افزایش سطح شوری، میزان پرولین، نشت الکترولیت غشا و کارتنوئید افزایش و محتوای کلروفیل a و b، محتوای نسبی آب و پایداری غشا کاهش یافت. کاربرد کود دامی و اسید هیومیک موجب افزایش محتوای نسبی آب، پایداری غشا و میزان کلروفیل در شرایط تنش شد که نشان‌گر اثر تعدیلی این کودها در کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری است. بنابراین، لستفاده از اسید هیومیک و کود دامی می‌توانند جهت تعدیل اثرات نامطلوب تنش شوری بر گیاه پنبه در اقلیم‌های گرم و خشک مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: پرولین، کلروفیل، محتوای نسبی آب، نشت الکترولیت غشا

مقدمه

امروزه کشاورزی با مشکلات متعددی از قبیل کمبود آب آبیاری، شوری آب و خاک، کمبود مواد غذایی روبرو است که تنش شوری یکی از مهم‌ترین این تهدیدات برای کشاورزی است. تحت شرایط تنش شوری، جوانه‌زنی، رشد و نمو و تولید محصولات گیاهی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و با کاهش مواجه می‌شود (Sun et al., 2018). بررسی آستانه تحمل شوری آب و خاک برای گیاهان مختلف و همچنین، نرخ متفاوت کاهش عملکرد به‌ازای هر واحد افزایش شوری نسبت به آستانه تحمل، نشان می‌دهد که گیاهان راهبردهای متفاوتی برای تحمل شوری دارند (Chinnusamy et al., 2005). طبق مطالعه انجام شده توسط مانس و تستر (Mouns & Tester, 2008)، آستانه تحمل شوری برای گیاه پنبه ۷/۷ دسی زیمنس بر متر عصاره اشباع و درصد کاهش عملکرد محصول به‌ازای هر واحد افزایش شوری ۵/۲ دسی‌زیمنس تخمین زده شده و بر این اساس، پنبه را جزو گیاهان مقاوم به شوری معرفی نمودند. بررسی‌های صورت گرفته، نشان می‌دهد که پنبه نسبت به شوری در مرحله جوانه‌زنی، ظهور گیاهچه و مراحل اولیه رشد و گل‌دهی در مقایسه با سایر مراحل رشد حساس‌تر است (Chen et al., 2010). شوری منابع آب و خاک باعث

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکترای، استاد و دانشیاران، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی. دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: mabehdani@birjand.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2022.77656.1118

بروز تغییرات متعددی در گیاهان می‌شود. رشد گیاهان در شرایط تنش شوری ممکن است از طریق تغییرات پتانسیل اسمزی بر اثر پایین رفتن پتانسیل آب در محیط ریشه، یا بر اثر تاثیرات ویژه یون‌ها در فرایندهای متابولیکی، کاهش یابد (Narimani et al., 2016). از جمله تغییرات بیوشیمیایی که تحت تنش شوری رخ می‌دهد، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن است که باعث آسیب اکسیداتیو و آسیب غشای سلولی می‌شود (Jafari et al., 2022).

کاهش محتوای نسبی آب برگ نیز یکی پاسخ‌های عمومی گیاه به شرایط تنش اسمزی ناشی از تنش شوری می‌باشد (Mousavian Kalat et al., 2016). صدمه ناشی از عوامل تنش‌زای محیطی نظیر گرما، سرما، خشکی، شوری و بسیاری از عوامل تنش‌زای محیطی در مرحله اول بر روی غشاهای سلولی قابل مشاهده است. به‌طوری‌که در اثر اعمال تنش شوری نفوذپذیری غشا نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. افزایش نشت الکترولیکی مواد نشانه‌ای از آسیب غشاها می‌باشد که احتمالاً نتیجه تنش اکسیداتیو منتج از تنش شوری است (Alilou et al., 2022). مطالعات بیوشیمیایی نشان داده است که در گیاهان تحت تنش شوری، تعدادی از ترکیبات آلی (محلول‌های سازگارکننده) تجمع می‌یابند. این ترکیبات تداخلی در فرایندهای شیمیایی گیاه وارد نمی‌کنند. از این ترکیبات می‌توان کربوهیدرات‌های محلول (مانیتول، ساکارز، رافینوز و الیگوساکاریدها) و ترکیبات نیتروژنه (اسید آمینه، پرولین و گلیسین) اشاره کرد (Narimani et al., 2016). با این حال، روش‌های مختلفی برای مقابله با شوری می‌توان بیان نمود که از جمله آن مدیریت صحیح زراعی در شرایط شور برای استفاده بهینه از منابع خاک و اب شور می‌باشد (Ardakani et al., 2015).

یکی از اثرات تنش، برهم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است. تغذیه مناسب در زمان تنش می‌تواند تا حدی به گیاه در مقابله با تنش‌های مختلف محیطی کمک کند. در این راستا، با مصرف کودهای محتوی عناصر ریزمغذی اولاً عملکرد گیاه افزایش می‌یابد، ثانیاً افزایش غلظت این عناصر در محصولات کشاورزی نقش مهمی در بهبود کیفیت مصرف غذایی دارد (Hashemi Fadaki et al., 2017). یکی از منابع مهم کودهای آلی، کود دامی می‌باشد که با آزادسازی تدریجی عناصر در خاک منجر به تقویت خاک و بهبود خواص فیزیکی خاک شده، لذا جذب مواد غذایی و آب در چنین شرایطی توسط ریشه‌های گیاه افزایش می‌یابد و از این طریقریال منجر به تعدیل اثرات تنش‌های محیطی بر گیاه می‌گردد (Rahmati et al., 2016). همچنینریال مصرف کود دامی باعث افزایش مقدار مواد آلی خاک می‌شود و در بهسازی خاک‌های شور و سدیمی به‌دلیل ایجاد شرایط فیزیکی بهتر سبب افزایش کارایی آبشویی در خاک‌های شور و بهسازی خاک‌های قلیا می‌گردد (Rezaei, 2012).

در بین کودهای سازگار با طبیعت، اسید هیومیک به‌عنوان یک اسید آلی بدون اثرات مخرب زیست‌محیطی باعث بهبود ساختار فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و به‌دلیل دارا بودن ترکیبات هورمونی، اثرات مثبت قابل ملاحظه‌ای بر شاخص‌های کمّی و کیفی محصولات کشاورزی دارد (Ahmadi et al., 2021 ; Sabzevari et al., 2018). اسید هیومیک ترکیب پلیمری طبیعی آلی است که در نتیجه پوسیدگی مواد آلی خاک، پیت، لیگنین و غیره به‌وجود می‌آید که می‌تواند موجب افزایش عملکرد وکیفیت محصول شود (Ghorbani et al., 2018). کاربرد اسید هیومیک باعث بهبود خصوصیات شیمیایی خاک از طریق افزایش شمار ریزجانداران مفید خاک شده و موجب افزایش چرخش مواد ریزمغذی و کاهش pH خاک در کشت پنبه (Osman & Rady, 2012)، بهبود دسترسی مواد غذایی ضروری در محدوده ریزوسفر ریشه، آزادسازی اسیدهای آلی و افزایش اثربخشی مواد غذایی و شیمیایی، موجب افزایش جذب مواد ریزمغذی توسط گیاه پنبه و کاهش محتوای سدیم، قندهای محلول و پرولین در برگ پنبه تحت تنش شوری (Rady et al., 2016) شده است. تدین و همکاران (Tadin et al .,2017) بیان داشتند که کاربرد اسید هیومیک تأثیر مثبتی بر صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد ارقام پنبه در خاک‌های شور دارد. در پژوهش انجام شده توسط شریعتی‌نیا (Shariatinia et al., 2013) اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری مقدار کلروفیل a، کارتنوئید، محتوای نسبی آب برگ و وزن خشک ساقه پنبه را در شرایط شوری آب آبیاری تحت تأثیر قرار داد. با توجه به اثرات منفی مصرف نهاده‌های شیمیایی بر شاخص‌های کیفی خاک با مصرف کودهای آلی به‌ویژه کود دامی و ارگانیک نظیر اسید هیومیک می‌توان موجب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد محصولات مختلف در شرایط تنش گردید. بنابراین، هدف از ازمایش حاضر، استفاده از کود دامی (کود شتر) و اسید هیومیک تحت شرایط تنش شوری بر گیاه پنبه بر بود تا نقش این کودها در تعدیل اثرات تنش شوری مورد بررسی قرار گیرد و بهترین شرایط کاشت پنبه در مناطق گرم و خشک با کمبود آب و خاک‌های شور معرفی گردد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مزرعه‌ای واقع در شهرستان بشرویه استان خراسان جنوبی با عرض جغرافیایی۳۳/۵۴ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷/۲۷ درجه شرقی و ارتفاع ۸۸۵ متر از سطح دریا انجام گرفت. آزمایش مزرعه ای به‌صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات فاکتوریل) در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد که در آن سطوح مختلف شوری آب آبیاری در سه سطح (۲/۵، ۵/۵ و ۸/۵ دسی زیمنس بر متر) به‌عنوان فاکتور اصلی و دو تیمار کود دامی (در دو سطح: صفر و ۲۰ تن در هکتار بر اساس نیاز خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک) و اسید هیومیک (در دو سطح: صفر و ۲۰۰ گرم برای ۱۰۰ کیلوگرم بذر) نیز به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. از آنجا که آستانه تحمل شوری برای گیاه پنبه ۷/۷ دسی زیمنس بر متر عصاره اشباع و درصد کاهش عملکرد محصول به‌ازای هر واحد افزایش شوری ۵/۲ تخمین زده شده (Mouns & Tester., 2008)؛ در این آزمایش، سه سطح (یک سطح پایین‌تر، یک سطح در استانه تنش و یک سطح بالاتر) در نظر گرفته شد. در این آزمایش ابعاد کرت‌های فرعی سه در چهار متر و فاصله دو متر، فاصله تکرارها از هم نیز سه متر در نظر گرفته شد و گیاه پینه با تراکم ۱۰ بوته در مترمربع کاشته شد. اسید هیومیک مورد استفاده با نام تجاری هیومیکس WSG-95 ساخت کشور آمریکا و دارای هیومات پتاسیم= ۸۰ درصد، اسید فولیک= ۱۵ درصد و اکسید پتاسیم=۱۲ درصد بود. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه، قبل از کاشت از عمق ۰-۳۰ سانتی متر به‌منظور آزمون خاک و تعیین میزان کود مورد نیاز، نمونه‌برداری انجام شد و سپس، مقدار کودهای نیتروژن از نوع اوره، فسفر از نوع سوپر فسفات تریپل و پتاسیم از نوع سولفات پتاسیم بر اساس توصیه کودی مؤسسه تحقیقات پنبه کشور برای تمام تیمارها به‌صورت یکنواخت اضافه شد. تمام کود پتاسیم و فسفر قبل از کاشت و کود نیتروژن (اوره) در سه نوبت (شامل: هم زمان با کاشت، مرحله چهار برگی حقیقی و قبل از گل‌دهی به‌صورت مساوی) مصرف شد. جهت تعیین تغییرات شوری خاک، میزان EC خاک قبل و بعد از پایان آزمایش از عمق ۳۰-۰ سانتی متر اندازه‌گیری شد. قبل از انجام آزمایش، تجزیه آب آبیاری در هر سه سطح، جهت تعیین نوع نمک و pH انجام گرفت. از کود دامی نیز نمونه‌برداری و جهت تعیین EC آن مورد آزمایش قرار گرفت. مراحل آماده‌سازی زمین مطابق با عرف منطقه (شامل شخم عمیق، دیسک و تسطیح زمین) در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۸ انجام و کشت در نیمه دوم خرداد ماه ۱۳۹۸ به‌صورت دستی و کرتی انجام شد. با توجه به کشت غالب منطقه، در این آزمایش بذر رقم خرداد به‌میزان ۲۰ کیلوگرم بذر در هکتار استفاده شد. به‌دلیل افزایش سرعت جوانه‌زنی بذور پنبه بر اثر سهولت جذب آب و رطوبت اطراف و کاهش خسارت آفات و بیماری‌ها در هنگام جوانه‌زنی و خروج گیاهچه از خاک و در نتیجه، بهبود درصد جوانه‌زنی در خاک و ظهور یکنواخت گیاهچه، از بذرهای بدون کرک (دلینته) استفاده شد. تیمار کود گاوی در مراحل آماده‌سازی زمین قبل از کشت پنبه اعمال شد. تیمار اسید هیومیک به‌صورت بذرمال اعمال شد. بر اساس بروشور کود، مقدار اسید هیومیک مورد نظر (۲۰۰ گرم اسید هیومیک به‌ازای ۱۰۰ کیلوگرم بذر گیاه زراعی) در سه لیتر آب حل و بذور با آن آغشته شد و پس از خشک شدن در سایه، بلافاصله کشت انجام گرفت. آب مورد نیاز با شوری‌های مورد نظر از سه چاه موتور در اطراف مزرعه تأمین و با تانکر به محل مزرعه حمل و با استفاده از شلنگ به ابتدای هر کرت انتقال داده شد. حجم آب مورد نیاز در هر مرحله از آبیاری با استفاده از کنتور حجمی نصب شده در مسیر شلنگ انتقال آب در اختیار تیمارهای آزمایشی مورد نظر قرار گرفت و جهت تسریع انجام آبیاری از پمپ استفاده شد. به‌منظور جلوگیری از سله بستن خاک و بهبود وضعیت سبز گیاهچه‌های پنبه آبیاری دوم با فاصله ۱۰ روز بعد انجام گرفت. پس از استقرار کامل و در مرحله پنج تا شش برگی بوته‌ها، عملیات تنک کردن بوته‌ها به‌منظور دستیابی به تراکم مطلوب انجام شد. عملیات وجین جهت حذف علف‌های هرز به‌صورت دستی صورت گرفت. همچنین کنترل شیمیایی آفاتی نظیر تریپس، برای تمام تیمارها انجام شد. نمونه‌برداری جهت انجام صفات کیفی از برگ سبز گیاه در مرحله ابتدای غوزه‌دهی صورت گرفت.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Some fundamental physical and chemical properties of the experimental site

بافت Texture	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	اسیدیته pH	نیتروژن کل Total N (%)	مواد آلی OM (%)	فسفر قابل جذب P (mg.kg^{-1})	پتاسیم قابل دسترس K (mg.kg^{-1})
لومی-رسی Loam-clay	2.5	7.8	0.024	0.2	8.4	135

محتوای نسبی آب: با استفاده از روش کامرون و همکاران (Cameron et al., 1999) تعیین شد. برای این منظور، یک گرم برگ سبز گیاه (آخرین برگ‌های گسترش یافته گیاه در مرحله ابتدای غوزه‌دهی) در یک استوانه مدرج حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده و سپس، برای مدت ۲۴ ساعت در دمای اطاق نگهداری شد. پس از این مدت، برگ‌ها به‌دقت توسط دستمال کاغذی خشک و بلافاصله وزن آماس آن‌ها مورد سنجش قرار گرفت (TW[1]). سپس، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون تا رسیدن به وزن ثابت خشکانده و وزن خشک آن‌ها تعیین شد (DW[2]). با قرار دادن اعداد در معادله ۱، میزان RWC محاسبه شد.FW[3] بیانگر وزن تازه برگ می‌باشد (Cameron et al., 1999).

معادله (۱) $RWC^{4}\ (\%) = [(FW-DW)/(TW-DW)]\times 100$

نشت الکترولیت غشا: با استفاده از روش شی و همکاران (Shi et al., 2008) تعیین شد. جهت تعیین میزان نشت الکترولیت سلول‌های برگ، یک گرم از نمونه‌های برگ سبز گیاه (آخرین برگ‌های گسترش یافته گیاه در مرحله ابتدای غوزه‌دهی) به‌طول یک سانتیمتر با آب مقطر شستشو و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق در ظروف شیشه ای ۷۵ میلی لیتری، حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر نگهداری شد. سپس هدایت الکتریکی محلول با استفاده از دستگاه سنجش هدایت الکتریکی تعیین شد (C1). پس از آن ظروف حاوی نمونه به‌مدت یک ساعت در بن ماری در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت و پس از سرد شدن، مجدداً هدایت الکتریکی آن تعیین شد (C2). در نهایت، با قرار دادن اعداد در معادله ۲، میزان نشت الکترولیت غشا برحسب درصد محاسبه شد.

معادله (۲) نشت الکترولیت از غشا (درصد) = $(C1/C2)\times 100$

اندازه‌گیری پایداری غشا: بر اساس روش سیرام و همکاران (Sairam et al., 2001) انجام شد. لوله ازمایش اول که حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه و ۰/۱ گرم نمونه برگ سبز گیاه (آخرین برگ‌های گسترش یافته گیاه در مرحله ابتدای غوزه‌دهی) می‌باشد، به مدت ۳۰ دقیقه در بن ماری ۴۰ درجه سانتی‌گراد (EC_{40}) و لوله آزمایش دوم که حاوی ۱۰ میلی‌لیتر اب دیونیزه و ۰/۱ گرم برگ می‌باشد، به‌مدت ۱۰ دقیقه در بن ماری ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (EC_{100}) قرار گرفتند. سپس لوله‌ها را جهت کاهش دما و رسیدن دما به دمای محیط در یخچال گذاشته و پس از تعدیل دما، میزان نشت الکترولیت آن‌ها را با دستگاه EC متر خوانده و طبق معادله ۳ میزان پایداری غشا (MSI) آن‌ها سنجیده شد (Sairam et al., 2001):

معادله (۳) $MSI^{5}= 1- (EC40/ EC100)$

رنگیزه‌های فتوسنتزی: ۰/۱ گرم برگ به‌دقت توزین و در هاون چینی با استفاده از نیتروژن مایع خرد گردید. سپس با افزودن ۱۰ میلی لیتر استون ۸۰ درصد در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شدند. عصاره جدا شده حاصل از سانتریفیوژ در داخل لوله آزمایش ریخته شد، پس از آن جذب محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۷، ۶۶۳ نانومتر اندازه‌گیری شد. از استون ۸۰ درصد نیز به عنوان محلول شاهد برای تنظیم صفر جذب نوری اسپکتروفتومتر استفاده شد. اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کاروتنوئید در مرحله گل‌دهی کامل انجام گرفت. واحد اندازه‌گیری میلی‌گرم در میلی لیتر عصاره گیاهی بود (Lichtenthder, 1987).

معادله (۴) $Cha^{6}=11.5A663-2.79A647$

$Chb^{7}=21.5A647-5.7A663$

$C(X+C)^{8}= (1000A470-1.8Ca-85.02Cb)/198$

1- Total weight
2- Dry weight
3- Fresh weight
4- Relative Water Content

5- Membrane Stability Index
6- Chlorophyll a
7- Chlorophyll b
8- Carotenoids

در معادله‌های فوق، Cha: کلروفیل a، Chb: کلروفیل b، $C(x+c)$: میزان کاروتنوئیدها و A: میزان جذب در طول موج‌های مختلف است.

پرولین: برای سنجش اسید آمینه پرولین از هر تیمار نمونه‌هایی را به‌صورت تازه برداشت شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در فریزر با دمای منفی ۲۰ درجه قرار داده شد. جهت سنجش، مقدار پرولین با روش بیز و همکاران (Bates et al., 1973) استخراج شد. در این روش، با استفاده از سولفوسالسیلیک اسید سه درصد، اسید آمینه پرولین از بافت خشک گیاهی استخراج و با معرف ناین هیدرین رنگ‌آمیزی شد، سپس میزان جذب نوری محلول حاصل در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج نوری قرائت شد. غلظت نهایی پرولین با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه گردید .

تحلیل آماری: محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (9.3)، مقایسه میانگین‌ها نیز از توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. جهت رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث:

محتوای نسبی آب

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر شوری، کود دامی و اسید هیومیک هرکدام به‌تنهایی بر صفت محتوای نسبی آب معنی‌دار شد ($p\leq0.01$). با توجه به نتایج جدول ۳، افزایش شدت شوری آب آبیاری (دسی زیمنس بر متر) سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ شد. بیشترین مقدار این صفت در تیمار شوری ۲/۵ دسی زیمنس بر متر (۸۲/۸۸) و کمترین مقدار آن در تیمار شوری ۸/۵ دسی زیمنس بر متر (۶۳/۶۸) مشاهده گردید. این کاهش میزان رطوبت نسبی اندام‌های هوایی یک پاسخ عمومی به شرایط تنش اسمزی است. میزان رطوبت اندام‌های هوایی به‌عنوان فاکتوری برای تعیین سطح آب گیاه شناخته شده است که منعکس‌کننده فعالیت‌های متابولیکی در بافت گیاهی است (Taghizadeh, 2016). کاهش میزان رطوبت نسبی اندام‌های هوایی یک فشار تورژسانسی است که سبب کاهش آب مورد نیاز برای فرایندهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی از قبیل طویل شدن سلولی، باز شدن روزنه‌ها و فرایندهای وابسته به فتوسنتز است (Jafari et al., 2022). نتایج آزمایش تقی‌زاده (Taghizadeh, 2016) مؤید کاهش محتوای نسبی آب برگ با افزایش شدت تنش شوری در ارقام مختلف گیاه پنبه بود. جعفرآقایی و همکاران (JafarAqhaei et al., 2016) در تأیید نتایج به‌دست آمده بیان کردند که اثر تنش شوری بر محتوای نسبی آب برگ در گیاه پنبه، در روزهای مشخصی پس از کاشت معنی‌دار بود و کمترین میزان آن در تیمار شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر و بیشترین میزان آن در تیمار شوری ۴ دسی زیمنس بر متر حاصل شد.

از طرفی، کاربرد کود دامی و اسید هیومیک به‌عنوان تعدیل‌کننده‌های تنش شوری به‌ترتیب موجب افزایش ۵/۰۵ و ۵/۱۵ درصدی محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد کود) شد (جدول۲). اثرات متقابل دو و سه فاکتوره تأثیر معنی‌داری بر صفت مورد نظر نداشت. مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که هرچند با افزایش سطوح شوری محتوای نسبی آب کاهش پیدا کرد، امّا کاربرد کود دامی و اسید هیومیک منجر به افزایش محتوای نسبی آب نسبت به شرایط شاهد گردید. در همین رابطه، نریمانی و همکاران (Narimani et al., 2016) کاهش محتوای نسبی آب برگ گیاه بادرشبی را گزارش کردند و بیان کردند که کاربرد اسید هیومیک توانست تا حدودی منجر به تعدیل اثرات ناشی از تنش شوری گردید.

نشت الکترولیت غشا و پایداری غشا

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر شوری، کود دامی و اسید هیومیک بر صفت نشت الکترولیت غشا و پایداری غشا معنی‌دار شد($p\leq0.01$). با افزایش شوری آب آبیاری از ۲/۵ دسی زیمنس بر متر به ۵/۵ و ۸/۵ دسی زیمنس بر متر، میزان نشت الکترولیت غشا افزایش و پایداری غشا کاهش پیدا کرد. صدمه ناشی از عوامل تنش زای محیطی نظیر گرما، سرما، خشکی، شوری و آبیاری از عوامل تنش‌زای محیطی در مرحله اول بر روی غشاهای سلولی قابل مشاهده است. به‌طوری‌که در اثر اعمال تنش شوری، نفوذپذیری غشا نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج، می‌توان گفت که با افزایش شوری، غشای سیتوپلاسمی آسیب می‌بینند و به همین خاطر، پایداری آن کم و میزان نشت الکترولیت غشا از آن افزایش می‌یابد. تقی‌زاده (Taghizadeh, 2016) نیز بیان داشتند با افزایش سطوح شوری، میزان نشت الکترولیتی مواد از غشا در ارقام مختلف پنبه افزایش یافته است. افزایش نشت الکترولیتی مواد نشاسته‌ای از آسیب غشاها و کاهش پایداری غشا می‌باشد که احتمالاً نتیجه تنش اکسیداتیو منتج از شوری است (Besma & Denden., 2012). افزایش نشت الکترولیتی غشا در نتیجه افزایش شوری، در

اسفناج (*Spinacia oleracea*) (Kaya et al., 2017)، گندم (*Triticumn aestivum* V.) (Farhoudi., 2011)، پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) (JafarAghayi et al., 2016) بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.) (Narimani et al., 2016) نیز گزارش شده است. نتایج مشابه اثر تنش شوری روی کاهش پایداری غشا در گیاهان کلزا (*Brassica napus* L.) (Alilou et al., 2022)، گندم (*Triticumn aestivum* V) (Davoudifard et al., 2013)، گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill) (Tabatabaian., 2013)، کاهو (*Lactuca sativa*) (Fatahi et al., 2016)، اسپرس (*Onobrychis altissima*) (Ramek et al., 2013) و چغندرقند (*Beta vulgaris*) (Mohammadi Chiragabadi et al., 2014) گزارش شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش شوری، کود دامی و اسید هیومیک بر صفات پنبه

Table 3- The mean comparison of the effect of different levels of salinity stress, manure, and humic acid on cotton traits

تیمار Treatments	محتوای نسبی آب Relative water content (%)	نشت الکترولیت غشا Membrane electrolyte leakage (%)	پایداری غشا Membrane stability	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g FW^{-1})	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g FW^{-1})	کارتنوئید Carotenoid (mg.g FW^{-1})	پرولین Proline
S_1	82.87	36.9	75.18	3.708	13.56	0.857	5.75
S_2	72.62	37.9	69.37	3.116	9.51	0.988	14.20
S_3	63.68	38.48	65	2.94	8.22	1.618	29.96
LSD (5%)	0.944	0.097	0.433	0.044	0.051	0.22	0.29
A_1	71.16	38.53	66.87	3.14	10.56	1.105	17.66
A_2	74.95	37.05	72.83	3.37	10.95	1.204	15.61
LSD (5%)	0.516	0.197	0.423	0.025	0.031	0.033	0.233
H_1	71.02	38.17	68.45	3.164	10.6	1.12	17.30
H_2	74.88	36.42	71.25	3.35	10.91	1.18	15.98
LSD (5%)	0.516	0.197	0.423	0.025	0.031	0.023	0.23
S_1A_1	76.25	37.7	61.25	3.52	14.22	0.83	6.6
S_1A_2	78	36.95	65.25	3.69	14.54	0.86	5.62
S_2A_1	71.5	38.87	66.75	3.02	9.04	096	15.97
S_2A_2	75.5	37.52	70.25	3.14	9.59	0.98	13.9
S_3A_1	62.25	40.1	71	2.76	8.07	1.45	23.8
S_3A_2	67	37.87	76.25	2.84	8.26	1.62	28.9
LSD (5%)	0.309	0.92	0.918	0.041	0.051	0.038	0.413
A_1H_1	70.33	38.89	6.33	3.10	10.44	1.08	18.45
A_1H_2	73.91	38.17	67.41	3.17	10.68	1.12	16.86
A_2H_1	72.85	37.45	70.58	3.22	10.76	1.15	16.14
A_2H_2	76	36.66	75.08	3.52	11.13	1.25	15.09
LSD (5%)	0.259	0.259	0.759	0.036	0.044	0.029	0.239
S_1H_1	81.87	81.87	37.32	3.6	14.38	0.85	6.11
S_1H_2	83.87	36.66	66.75	3.8	14.69	0.863	5.4
S_2H_1	71.75	37.32	38.20	3.83	9.32	0.976	14.93
S_2H_2	73.5	36.66	37.61	3.38	3.70	1	13.46
S_3H_1	62.75	38.20	38.98	2.8	8.11	1.537	30.85
S_3H_2	64.62	37.61	37.98	3.098	8.33	1.70	29.07
LSD (5%)	0.317	0.914	0.929	0.044	0.054	0.036	0.430

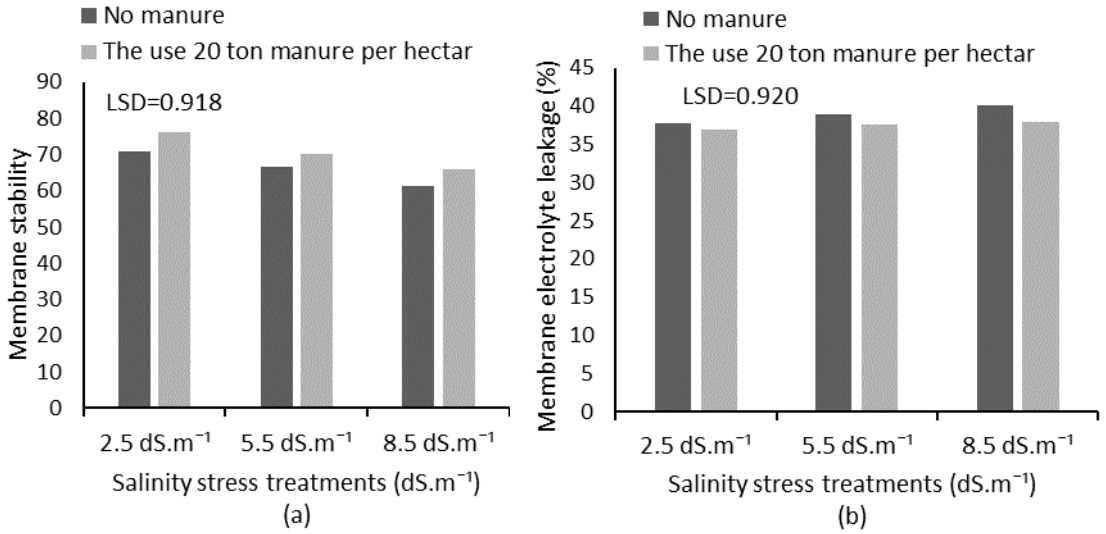
S_1 (تنش شوری ۲/۵ دسی زیمنس بر متر) S_2 (تنش شوری ۵/۵ دسی زیمنس بر متر)؛ S_3 (تنش شوری ۸/۵ دسی زیمنس بر متر) A_1 (عدم مصرف کود دامی) A_2 (کود دامی ۲۰ تن در هکتار) H_1 (عدم مصرف اسید هیومیک) H_2 (مصرف ۱۰۰ گرم اسید هیومیک برای ۱۰۰ کیلوگرم بذر)

S_1 (salinity Stress 2.5 deciSiemens/meter) S_2 (salinity Stress 5.5 deciSiemens/meter) S_3 (salinity Stress 8.5 deciSiemens/meter) A_1 (no use of manure), A_2 (use of manure 20 tons per hectare) H_1 (No use of humic acid) H_2 (Use of 100 grams of humic acid for 100 kg of seeds)

اثر اصلی کود دامی و اسید هیومیک بر هر دو صفت مورد نظر در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). استفاده از کود دامی موجب افزایش پایداری غشا و کاهش نشت الکترولیت غشا شد که خود در افزایش مقاومت گیاه به شرایط تنش بسیار مؤثر است (جدول

۲). استفاده از اسید هیومیک نیز تأثیر مثبتی در تعدیل تنش شوری با کاهش میزان نشت الکترولیت غشا (۴/۵۸ درصد) و افزایش پایداری غشا (۴/۰۹ درصدی) داشت (جدول ۳). اثرات تعدیلی تیمار اسید هیومیک بر پایداری غشا در سطوح مختلف تنش شوری در گیاهان ذرت (*Zea mays* L.) (Kaya et al., 2018)، آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) (Khan et al., 2013)، کلزا (*Brassica napus* L.) (Alilou et al., 2022) و بادام (*Amygdalus communis* L) (Hatami et al., 2018) گزارش شده است.

اثر متقابل تنش شوری و کاربرد کود دامی بر صفت نشت الکترولیت غشا معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کاربرد کود دامی تا حدودی منجر به کاهش میزان نشت الکترولیت غشا شده است (شکل ۱)



شکل ۱- اثر متقابل کود دامی و تنش شوری بر میزان پایداری غشا (a) و میزان نشت الکترولیت غشا (b) در پنبه

Fig. 1- The interaction effect of animal manure and salinity stress on membrane stability (a) and membrane electrolyte leakage (b) in cotton (b) in cotton

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر متقابل شوری × کود دامی، شوری × اسید هیومیک و کود دامی × اسید هیومیک نیز بر صفت پایداری غشا معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از آزمایش نشان دادکه کمترین (۳۶/۹۵) و بیشترین (۴۰/۱) میزان پایداری غشا به‌ترتیب از تیمارهای عدم مصرف کود دامی و سطح تنش شوری ۸/۵ دسی زیمنس بر متر و مصرف کود دامی و سطح تنش شوری ۲/۵ دسی زیمنس بر متر به‌دست آمد (جدول ۲). استفاده از اسید هیومیک در شوری ۸/۵ دسی زیمنس بر متر موجب افزایش ۴/۰۸ درصدی پایداری غشا در مقایسه با عدم کاربرد آن شد (جدول ۲). کاربرد هم زمان کود دامی و اسید هیومیک نیز موجب بهبود پایداری غشا شد، بیشترین میزان آن در تیمار کاربرد کود دامی و اسید هیومیک (۷۵/۰۸) و کمترین میزان آن در تیمار عدم کاربرد آن‌ها (۶۶/۳۳) حاصل شد.

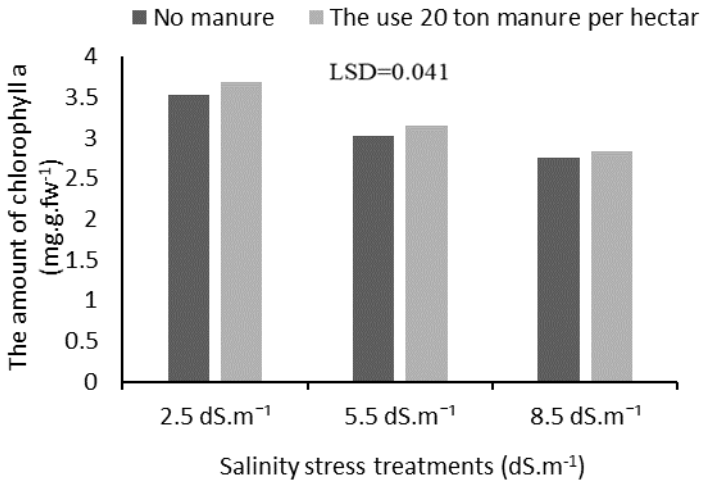
رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر شوری بر کلروفیل a در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار تنش شوری ۲/۵ دسی زیمنس بر متر (۳/۷) و کمترین میزان آن در تیمار شوری ۸/۵ دسی زیمنس بر متر (۲/۹۴) به‌دست آمد (شکل ۲). یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش کلروفیل‌ها با افزایش شوری، تخریب آن‌ها احتمالاً به‌وسیله گونه‌های فعال اکسیژن حاصل شده در شرایط تنش می‌باشد (Karimzadeh et al., 2014). تقی‌زاده و همکاران (Taghizadeh, 2016)، کاهش کلروفیل a را در ارقام مختلف پنبه با افزایش سطوح تنش شوری، گزارش کردند. کاهش مقدار کلروفیل a برگ در حضور شوری در گیاهان ماش (*Vigna radiata* L.) (Saha et al., 2010)، خیار (*Cucumis sativus*) (Khan et al., 2013) و کلزا (*Brassica*

napus L.) (Alilou et al., 2022) گزارش شده است.

مصرف کود دامی موجب افزایش ۶/۸ درصدی میزان کلروفیل a در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کود دامی شد که نشان‌دهنده اثر معنی‌دار این تیمار می‌باشد(جدول ۲ و ۳). از طرفی، کاربرد اسید هیومیک نیز موجب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل a نسبت به شرایط عدم مصرف اسید هیومیک شد. در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) (Alilou et al., 2022) و گندم (*Triticumn aestivum* V) (Farhoudi, 2012) نیز افزایش میزان کلروفیل a با مصرف اسید هیومیک بیان شده است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل کود دامی و تنش شوری، اسید هیومیک و تنش شوری، کود دامی و اسید هیومیک بر صفت مورد نظر معنی‌دار شده است ($p\leq0.1$). بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار کاربرد کود دامی و تنش شوری ۲/۵ دسی زیمنس بر متر (۳/۶۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین میزان آن در تیمار عدم کاربرد کود دامی در تنش شوری ۸/۵ دسی زیمنس بر متر (۲/۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) حاصل شد (شکل ۲).



شکل ۲- تأثیر کود دامی و تنش شوری بر میزان کلروفیل a برگ در پنبه

Fig. 2- The effect of animal manure and salinity stress on leaf chlorophyll a content in cotton

استفاده از اسید هیومیک در شرایط شوری آب آبیاری موجب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل a شد (جدول ۳). با مصرف اسید هیومیک در شرایط شوری آب ۲/۵، ۵/۵ و ۸,۵ دسی زیمنس بر متر به‌ترتیب ۵/۲۵، ۸/۹۸ و ۹/۶۲ درصد افزایش در میزان کلروفیل a نسبت به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک در همان تیمار شوری حاصل شد (جدول ۳). در گیاه کلزا نیز با مصرف اسید هیومیک در شرایط تنش شوری موجب افزایش میزان کلروفیل a در برگ‌ها شد (Alilou et al., 2022). اسید هیومیک به‌عنوان یک ماده آلی علاوه‌بر بهبود شرایط خاک و جذب بهتر مواد غذایی توسط گیاه موجب افزایش سبزینگی گیاه و کلروفیل برگ می‌شود (Roshni et al., 2013).

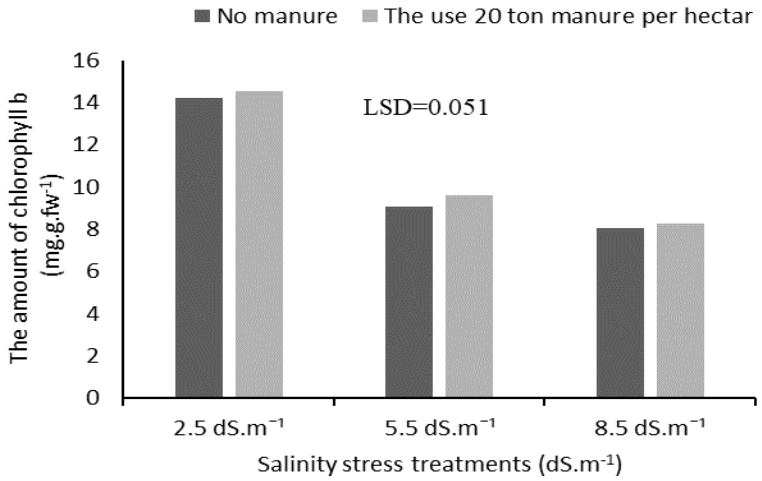
کلروفیل b

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر شوری بر کلروفیل b در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان کلروفیل b در تیمار تنش شوری ۲/۵ دسی زیمنس بر متر (۱۴/۵۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین میزان آن در تیمار شوری ۸/۵ دسی زیمنس بر متر (۸/۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به‌دست آمد (جدول ۳). یکی از آثار شوری در گیاه، کاهش فعالیت فتوسنتزی است که موجب کاهش بیوسنتز کلروفیل (a و b)، کاهش کارایی دستگاه فتوسنتزی می‌گردد (Roshni et al., 2013; Jafari et al., 2022).

اثر اصلی کود دامی و اسید هیومیک نیز بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۲). مصرف کود دامی موجب افزایش ۳/۶۹ درصدی میزان کلروفیل b در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کود دامی شد که نشان‌دهنده اثر معنی‌دار این تیمار می‌باشد (جدول ۲ و ۳). از طرفی، کاربرد اسید هیومیک نیز موجب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل b نسبت به شرایط عدم مصرف اسید هیومیک شد. بیشترین کلروفیل b

از تیمار کاربرد اسید هیومیک با (۱۰/۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین میزان آن از تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک (۱۰/۶۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به‌دست آمد (جدول ۳). افزایش میزان کلروفیل در اثر کاربرد اسید هیومیک را می‌توان به‌دلیل افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه نسبت داد (Rashidi Fard et al., 2019). مشاهدات آیدین و همکاران (Aydin et al., 2012) نشان داد که کاربرد اسید هیومیک در شرایط تنش شوری، باعث افزایش مقدار کلروفیل گیاه لوبیا می‌شود. به‌طور مشابه با این پژوهش، کایا و همکاران (Kaya et al., 2017)، رشیدی فرد و همکاران (Rashidi Fard et al., 2019) نیز افزایش مقدار کلروفیل ذرت در اثر کاربرد اسید هیومیک را در شرایط تنش شوری گزارش کردند. کاربرد اسید هیومیک در شرایط تنش شوری در گیاه گندم نیز موجب افزایش میزان کلروفیل تولیدی شد (Davoudifard et al., 2013).

با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل شوری و کود دامی بر صفت مورد نظر معنی‌دار شد (جدول ۲). همان‌طور که در نمودار نیز دیده می‌شود، با افزایش شدت تنش شوری، میزان کلروفیل b به‌شدت کاهش پیدا می‌کند، امّا مصرف کود دامی تا حدودی توانست موجب بهبود این صفت در شرایط تنش شود (شکل ۳).



شکل ۳- اثر متقابل کود دامی و شوری بر میزان کلروفیل b در برگ پنبه

Fig. 3- The interaction effect of animal manure and salinity on the amount of chlorophyll b in cotton leaves

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد، اثر متقابل کود دامی، اسید هیومیک در شرایط اعمال تیمار شوری، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان کلروفیل b در تیمار مصرف کود دامی و اسید هیومیک در شرایط تنش شوری ۲/۵ دسی زیمنس بر متر (۱۴/۹۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین میزان کلروفیل b در تیمار عدم مصرف کود دامی و اسید هیومیک در شرایط تنش شوری ۸/۵ دسی زیمنس بر متر (۸/۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) حاصل شد. در هر تیمار شوری، کاربرد هم زمان کود دامی و اسید هیومیک موجب بهبود تولید کلروفیل b در مقایسه با شاهد در همان شوری شده است (جدول ۳ و شکل ۴).

کارتنوئیدها

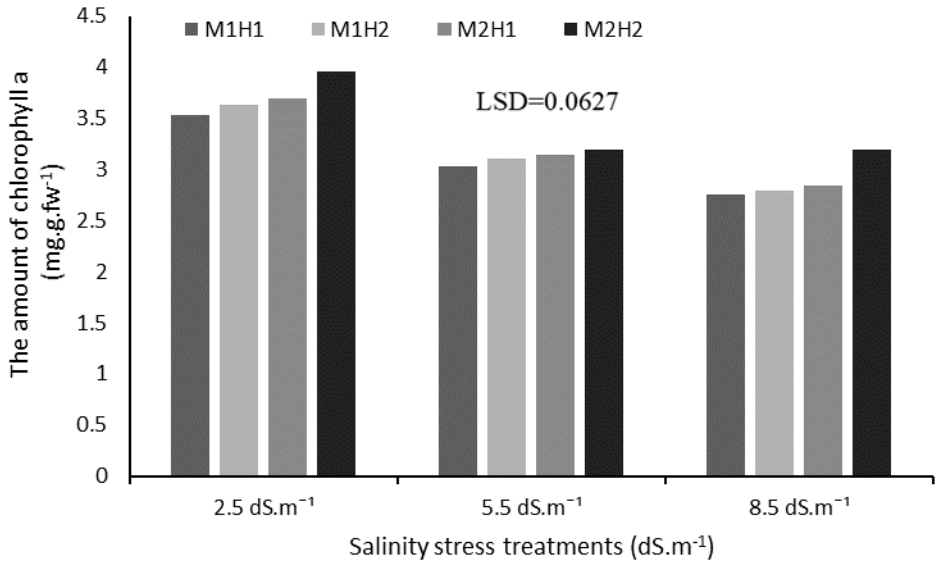
مطابق جدول مقایسه میانگین، با افزایش شوری، میزان کارتنوئیدها افزایش پیدا کرد (جدول ۳). این افزایش معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان کارتنوئید در تیمار شوری ۸/۵ دسی زیمنس بر متر با ۱/۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد که نسبت به تیمارهای شوری ۲/۵ و ۵/۵ دسی زیمنس بر متر به‌ترتیب ۴۷/۰۳ و ۳۸/۹۴ درصد افزایش داشت (جدول ۲). اثر اصلی اسید هیومیک و کود دامی نیز بر صفت مورد نظر معنی‌دار بود (جدول ۱). برخلاف کلروفیل‌ها، کارتنوئید یک روند افزایشی در هر دو رقم پنبه تحت تنش شوری مورد مطالعه در آزمایش تقی‌زاده و همکاران (Taghizadeh, 2016) نشان دادند که مؤید نتایج این تحقیق می‌باشد. گزارش شده است که کارتنوئیدها نقش مهمی در از بین

بردن ROS ایفا می‌کنند، بنابراین از غشا در برابر تنش شوری محافظت می‌کنند (Fathi Saadabadi et al., 2016).

با کاربرد کود دامی، میزان کارتنوئید تولیدی، ۸/۲۴ درصد افزایش نسبت به تیمار عدم کاربرد آن نشان داد (شکل ۵ ب). مصرف اسید هیومیک نیز موجب افزایش معنی‌دار (۵/۰۸ درصد) صفت مورد نظر نسبت به شاهد شد (شکل ۵ الف). اثر متقابل کود دامی و تنش شوری، اسید هیومیک و تنش شوری بر میزان کارتنوئید در سطح احتمال یک درصد نیز معنی‌دار شد (جدول ۳). کمترین میزان کارتنوئید در تیمار عدم مصرف کود دامی در شرایط شوری ۲/۵ دسی زیمنس بر متر (۰/۸۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و بیشترین میزان آن در تیمار کاربرد کود دامی در تیمار شوری ۸/۵ دسی زیمنس بر متر (۱/۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد (جدول ۳ و شکل ۵ ب). مصرف اسید هیومیک نیز موجب افزایش میزان کارتنوئید تولید شده توسط گیاه با افزایش میزان شوری شد، بیشترین میزان کارتنوئید در تیمار کاربرد اسید هیومیک در شوری ۸/۵ دسی زیمنس بر متر (۱/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد (جدول ۳، شکل ۵ الف).

میزان پرولین

میزان پرولین با افزایش شوری، به‌طور معنی‌داری ($p<0.001$) افزایش یافت (جدول ۲). بشترین میزان آن، در تیمار شوری ۸/۵ دسی زیمنس بر متر (۲۹/۹۶ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) و کمترین میزان آن در تیمار شوری ۲/۵ دسی زیمنس بر متر (۵/۷۵ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) مشاهده شد. همان‌طور که مشخص است، افزایش پرولین در گیاهان به‌هنگام تنش، نوعی سازوکار دفاعی است. پرولین با چندین سازوکار مانند تنظیم اسمزی، جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها، حفظ و سنتز پروتئین و پرولین، مقاومت گیاه را در برابر تنش‌ها بالا می‌برد (Narimani et al., 2016). میرقاسمی و همکاران (Mirghasemi et al., 2013)، علت افزایش قابل توجه میزان پرولین سه رقم پنبه را در شوری ۲۹/۹ دسی زیمنس بر متر را، پاسخ گیاه به تنش به‌عنوان یک مکانیزم مقاومت در ارقام مختلف پنبه گزارش کردند. اثر شوری بر تجمع پرولین در بسیاری از گونه‌های گیاهی نظیر چغندقند، گوجه‌فرنگی، برنج و توت گزارش شده است (Wanichan et al., 2003). با افزایش شوری از ۵۰ میلی مول به ۱۰۰ میلی‌مول، محتوای پرولین برگ‌ها در گیاه پنبه، سه برابرافزایش یافت (Elbaz et al., 2003).

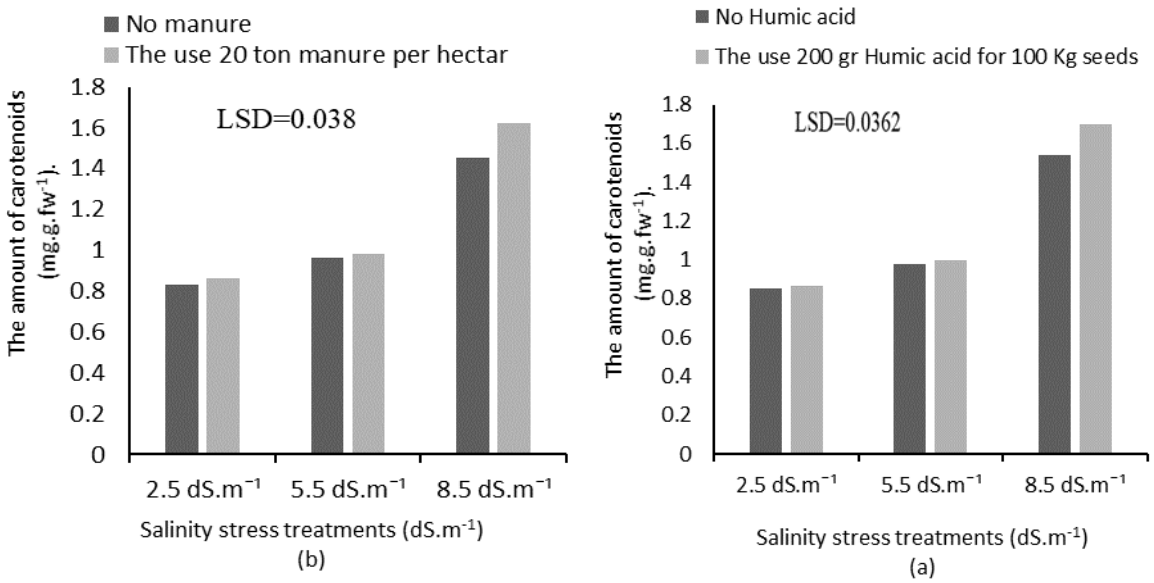


شکل ۴- اثر هم زمان سه فاکتور اصلی بر میزان کلروفیل a در گیاه پنبه

Fig. 4- The effect of three main factors on the amount of chlorophyll a in cotton plants

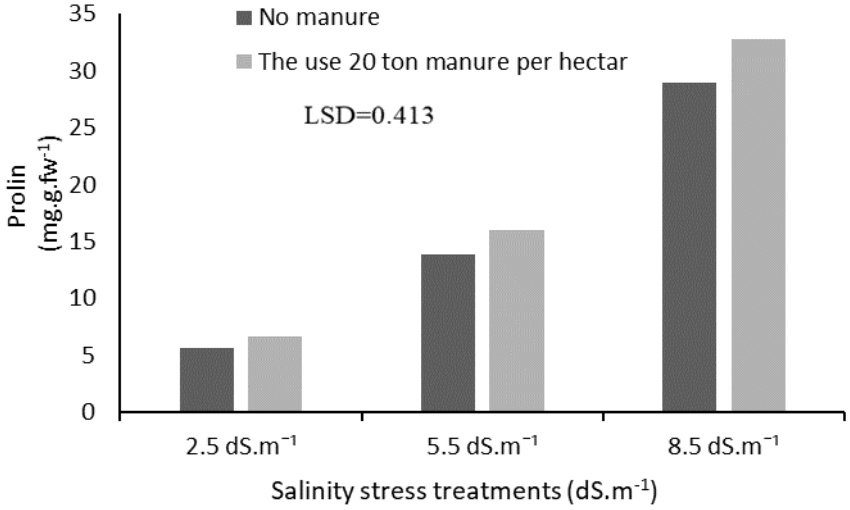
M_1: عدم مصرف کود دامی، M_2: مصرف ۲۰ تن کود دامی در هکتار، H_1: عدم مصرف اسید هیومیک، H_2: مصرف ۲۰۰گرم اسید هیومیک برای ۱۰۰کیلوگرم بذر

M_1: No use of animal manure, M_2: The use of 20 tons of animal manure per hectare, H_1: No use of humic acid, H_2: The use of 200 grams of humic acid for 100 kg seeds



شکل ۵- تأثیر تیمارهای مختلف اسید هیومیک(الف) و کود دامی (ب) بر میزان کارتنوئید برگ پنبه

Fig. 5- The effect of different treatments of humic acid (a) and animal manure (b) on the amount of carotenoids in cotton leaves



شکل ٦- تأثیر تیمارهای مختلف کود دامی در شرایط تنش شوری آب آبیاری بر میزان پرولین در گیاه پنبه

Fig. 6- The effect of different manure treatments on the amount of proline in cotton plants under the conditions of irrigation water salinity stress

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، کاربرد کود دامی در شرایط اعمال تنش شوری، موجب افزایش معنی‌دار پرولین شد. با توجه به جدول مقایسه میانگین، بیشترین میزان پرولین در تیمار کاربرد کود دامی (۱۷/۶۶ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) مشاهده شد که نسبت به تیمار عدم کاربرد کود، ۱۳/۱۳درصد افزایش داشت که نشان‌دهنده اثرات مثبت این کود آلی در تعدیل شرایط تنش شوری می‌باشد (جدول ۳). مصرف اسید هیومیک نیز موجب افزایش ۸/۲۶ درصدی میزان پرولین تولید شده توسط گیاه نسبت به شرایط عدم مصرف اسید هیومیک شد (جدول ۳). اثر متقابل شوری و کود دامی نیز بر میزان پرولین تولیدی، معنی‌دار شد (جدول ۲). مصرف کود دامی در شرایط شوری ۸/۵ دسی زیمنس بر متر در مقایسه با عدم مصرف آن در تیمارهای شوری مورد نظر ۱۳/۴۹ درصد افزایش نشان داد. در

شوری‌های ۵/۵ و ۲/۵ دسی زیمنس بر متر نیز افزایش ۱۴/۸۹ و ۱۷/۴۴ درصدی میزان پرولین نسبت به تیمار عدم مصرف کود مشاهده شد (شکل ۶).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از آب‌هایی با شوری بالا نظیر شوری ۸ دسی زیمنس بر متر موجب ایجاد تغییرات چشمگیری در صفات فیزیولوژیکی گیاه از جمله محتوای نسبی آب برگ، پایداری غشا، نشت الکترولیت غشا، کلروفیل‌ها و پرولین شد. با افزایش سطح شوری، میزان پرولین، نشت الکترولیت غشا و کارتنوئید افزایش و محتوای کلروفیل a و b، محتوای نسبی آب و پایداری غشا کاهش یافت. کاربرد کود دامی و اسید هیومیک موجب افزایش محتوای نسبی آب، پایداری غشا و میزان کلروفیل در شرایط تنش شد که نشانگر اثر تعدیلی این کودها در کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری است. با توجه به اثرات مثبت مصرف کودهای آلی در این آزمایش، توصیه می‌شود علاوه‌بر مصرف کود دامی قبل از کاشت و مصرف اسید هیومیک به‌صورت بذرمال، استفاده از اسید هیومیک در طول فصل رویشی نیز مورد آزمایش و بررسی قرار گیرد.

References

1. Ahmadi, M., Astarai, A.R., Lekzian, A., & Emami, H. (1400). Investigating the response of millet plant to the application of humic acid, silicon and mycorrhiza under sodium salt stress conditions of irrigation water. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, *3*, 836-823. (In Persian with English abstract)
2. Alilou, A.A., Shiri Azar, Z., Dashti, S., Shahabi Vand, S., & Pourmohamed, A.R. (1400). Modulating effects of humic acid on germination and vegetative growth of canola plant under salt stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *4*, 1-12. (In Persian with English abstract) https://doi.org/20.1001.1.23832592.1399.33.4.1.7
3. Ardakani, A., Armin, M., & Fille Kash, A. (2015). The effect of the amount and method of potassium application onfaM yield and yield components of cotton under saline conditions. *Iranian Agricultural Research Journal*, *14*(3): 525-514. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/GSC.V14I3.46135
4. Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, 112-121.
5. Aydin, A., Kant, C., & Tayrn, M. (2012). Humic acid application alleviate salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. *African Journal of Agriculture Researches*, 7, 1073–1086. http://dx.doi.org/10.5897/AJAR10.274
6. Bates, L.S., Walden, I.R.P., & Tear, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060
7. Besma, B.D., Denden, M. (2012). Effect of salt stress on growth, anthocyanins, membrane permeability and chlorophyll fluorescence okra (*Abelmoschus esculentus* L.) seedlings. *American Journal of Plant Physiology*, *7*, 174-183. https://doi.org/10.3923/ajpp.2012.174.183
8. Cameron, R.W.F., Harrison-Murray, R.S., & Scott, M.A. (1999). The use of controlled water stress to manipulate growth of container grown Rhododendron cv. Hoppy. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *74(2)*, 161–169. https://doi.org/10.1080/14620316.1999.11511089
9. Chen, W., Hou, Z., Wu, L., Liang, Y., & Wei, C. (2010). Evaluating salinity distribution in soil irrigated with saline water in arid regions of northwest china. *Agricultural Water Management*, *97*, 2001–2008. http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2010.03.008
10. Chinnusamy, V., Jagendorf, A., & Zhu, J. k. (2005). Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science*, *45*, 437-448. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0437
11. Davoudifard, M., Habibi, D., & Davoudifard, F. (2013). Investigating the effect of salt stress on cytoplasmic membrane stability, chlorophyll content and yield components in wheat inoculated with growth promoting bacteria and humic acid. *Journal of Agriculture and Plant Breeding*, *8*(2), 71-86. (In Persian with English abstract)
12. Dong, H., Li, W., Tang, W., & Zhang, D. (2009). Early plastic mulching increases stand establishment and lint yield of cotton in saline fields. *Field Crops Research*, *111*, 269-275. http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2009.01.001
13. El-Baz, F.K., Mahamed, A.A., & Aly, A.A. (2003). Development of biochemical markes for salt stress tolerance in cucumber Plants. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *1*, 16-22. https://doi.org/10.3923/pjbs.2003.16.22

14. Farhoudi, R. (2012). Investigating the effect of salinity stress on the yield and physiological characteristics of nine wheat cultivars in the vegetative growth stage. *Crop Physiology Research Quarterly, 20*, 86-71.
15. Fatahi, S., Saidi, M., & Zare, M.J. (2016). Investigating the morphological and physiological responses of lettuce in combination with mushrooms. Piriformospora indica under salinity stress. *Agricultural Agronomy, 2*, 255-243. (In Persian with English abstract)
16. Fathi Saadabadi, M., Ranjbar, Gha. A., Zangi, M., Kazemi-Tabar, S.K., & Najafi Zarini, H. (2016). Evaluation of salinity tolerance of early cotton genotypes at the seedling stage. *Crop Breeding Research Paper*, *9*(22), 109-116. https://sid.ir/paper/367236/fa (In Persian with English abstract) https://sid.ir/paper/367236/fa
17. Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A.R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions, 11*, 591 - 592. https://doi.org/10.1042/bst0110591
18. Ghorbani, S., Khazaei, H., R., Kafi, M., & Banyan Ol, M. (2018). The effect of humic acid application in irrigation water on yield and relative yield of corn (*Zea mays* L.). *Agricultural ecology, 2*(1), 123-131. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jag.v2i1.7608
19. Gilik, B.R., Penrose, D., & Wenbo, M. (2001). Bacterial promotion of plant growth. *Biotechnology Advances, 19*, 135-138. https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00065-3
20. Hasanuzzaman M, Oku H, Nahar K, Bhuyan MHMB, Mahmud JA, & Baluska, F. (2018). Nitric oxide -induced salt stress tolerance in plants: ROS metabolism, signaling, and molecular interactions. *Plant Biotechnol Report scienc, 12*(2), 77 –92. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.1007/s11816 -018 - 0480 - 0 .
21. Hashemi Fadaki, S.A., Fakheri, B., Mahdinejad, N., Mohammadpour & Vashwai, R. (2017). The effects of nano and nano biological fertilizers on the physiological, biochemical and yield characteristics of *Hibisicus sabdariffa* L.) under stress dryness to arable agriculture. *Journal Crop Improvement, 20*(1), 45-66. (In Persian with English abstract)
22. Hatami, E., Shokouhian, A.A., Ghanbari, A.R., & Naseri, L.A. (2018). Alleviating salt stress in almond rootstocks using of humic acid. *Journal of Scientia Horticulturae, 237*, 296-302. (In Persian with English abstract) https://civilica.com/doc/874769
23. JafarAghaei, M., & Jalali, A. H. (2013). The reaction of cotton genotypes to salinity stress in the conditions of Isfahan province. *Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products, 3*(10), 1-10. (In Persian with English abstract) https://sid.ir/paper/521582/fa
24. JafarAqhaei, M., Zinli, A., Galshi, S., & Soltani, A. (2016). Study of some biochemical changes in cotton genotypes under saline water irrigation conditions. *Iranian Cotton Research Journal, 4*(2), 27-44. (In Persian with English abstract) https://doi.org//10.22092/IJCR.2017.112855
25. Jafari T., Iranbakhsh A., Kamali K., & Daneshmand, F. (2021). Seifati. Effect of salinity stress levels on some Growth parameters, Mineral ion concentration, Osmolytes, Non-enzymatic antioxidants and phenylalanine ammonialyase activity in three genotypes of (*Chenopodium quinoa* Willd). *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal, 12* (45), 63-85. (In Persian with English abstract) https://doi.org//20.1001.1.24764531.1402.10.1.7.5
26. Karimzadeh, J., & Yavarzadeh, M. (2014). Chlorophyll a and b changes under the influence of ascorbic acid and salinity stress, the second international research conference in engineering. *Science and Technology Journal, 2*(1), 12-28. (In Persian with English abstract) https://sid.ir/paper/855310/fa
27. Kaya, M., Atak, M., Ciftci, C. Y., & Unver, S. (2005). Effects of zinc and humic acid applications on yield and some yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). South Dakota State University. *Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences, 9*, 116–126.
28. Khan, M.M., Al-Mas'oudi, R.S.M., Al-Said, F., & Khan, I. (2013). Salinity effects on growth, electrolyteleakage, chlorophyll content and lipid peroxidation in cucumber (*Cucumis sativus* L.*). International Conference on Food and Agricultural Sciences*, 55. http://doi:10.7763/IPCBEE.2013 .
29. Mane, A.V., Karadge, B.A., & Samant, J. S. (2010). Salinity induced changes in photosynthetic pigments and polyphenols of *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle. *Journal of Chem Pharm Research, 2*, 238-242.
30. Mirghasemi, S. J., Shabdin, M., Rezaei, M.A., & Alishah, A. (2014). Investigating the effect of salinity stress on the activity of some antioxidant enzymes, sodium and chlorine content of leaves in seven cotton genotypes. *Iranian Journal of Plant Ecophysiology Research, 33*(1): 29-37. (In Persian with English abstract)

https://civilica.com/doc/1206241

31. Mohammadi Chiragabadi, M., Roshanfekar, H.A., Hosseini, P., & Maskerbashi, M. (2014). The effect of salicylic acid spraying on some physiological indicators of sugar beet under salinity stress conditions. *Iranian Journal of Agricultural Plant Sciences, 4*, 604-591. https://sid.ir/paper/153658/fa (In Persian with English abstract)
32. Mohammadi, A., Bahmanyar, M., A., & Qajar Sepanlou, M. (2013). The effect of using plaster and manure on improving the amount of nitrogen, phosphorus and potassium in wheat leaves and grains under salt stress. *Scientific Journal of Agriculture. 36*(1), 1-11. (In Persian with English abstract) https://doi.org//20.1001.1.20081472.1394.13.1.21.1
33. Mousavian Kalat, S., M., & Abbaspour, N. (2016). The effect of salinity stress on some morphological and physiological characteristics of four rapeseed cultivars. *Recent Findings in Biological Sciences, 4*(2), 98-106. https://civilica.com/doc/1835028
34. Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology, 59*: 651–668. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
35. Narimani, R., Moghadam, M., Nemati, S., H., & Pirbaluti, H., Q. (2016). Evaluation of salinity stress adjustment using humic acid and ascorbic acid in the medicinal plant Bader Shabi (*Dracocephalum moldavica* L.). *Plant Research Journal (Iranian Biology Journal), 31*(4), 397. (In Persian with English abstract) https://doi.org//20.1001.1.23832592.1397.31.4.17.9
36. Osman, A.S.H., & Rady, M. M. (2012). Ameliorative effects of sulphur and humic acid on the growth, antioxidant levels, and yields of pea (*Pisum sativum* L.) plants grown in reclaimed saline soil. *The Journal of Horticultural Sciences and Biotechnology, 87*, 626–632. https://doi.org/10.1080/14620316.2012.11512922
37. Rady, M.M., Abd El-Mageed, T.A., Abdurrahman, H.A., & Mahdi, A.H. (2016). Humic acid application improves field performance of cotton (*Gossypium barbadense* L.) under saline conditions. *The Journal of Animal and Plant Sciences, 26*(2), 487-493.
38. Rahmati, Q.A., Astarai, A.R., & Khorasani, R. (2016). The effect of humic acid on pH, EC and SAR in the presence of cow and chemical fertilizers in Herat conditions. *Journal of Soil Sciences, 2*, 1-10. (In Persian with English abstract)
39. Ramek, P., Mehrania, M., & Ismailzad Bahabadi, P.P. (2013). Effect of water stress on some acclimatizing solutions and membrane stability in two species of spruce (*Onobrychis radiate* and *Onobrychis viciifolia*). *Iranian Journal of Plant Physiology and Biochemistry, 1*, 1-16. (In Persian with English abstract) http://ijppb.lu.ac.ir/article-1-34-fa.html
40. Rashidi Fard, A., Cherm, Norouzi Masir, M., & Roshanfekar, H. (2019). The effect of humic acid and zinc application on some growth characteristics and antioxidant enzymes of corn seedlings under soil salinity stress, *Iran Water and Soil Research, 9*, 2403-2394. (In Persian with English abstract) https://sid.ir/paper/397984/fa
41. Rezaei, M., 2012. A review of research on the use of animal manures in agricultural lands of Iran, *Journal of Land Management, 1*, 68-55. (In Persian).
42. Roshni, Q.A., & Mirghasemi, S.J. (2013). Investigating the effect of salinity on some morphophysiological responses of 12 genotypes of cotton plants. Journal of Plant Environmental Physiology 36, 57-47. (In Persian with English abstract) https://sid.ir/paper/367236/fa
43. Sabzevari, S., Khazaei, H., & Kafi, M. (2018). The effect of humic acid on the growth of roots and aerial parts of Scions and Sablan wheat cultivars. (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries), 94*, 23-87. (In Persian with English abstract) https://sid.ir/paper/119350/fa
44. Sabzevari, S., Khazaei, H.R., & Kafi, M. (2018). Investigating the effect of humic acid on the germination of 4 wheat cultivars. *Agricultural Research in Iran 8*(3), 473-480. (In Persian with English abstract) https://10.22067/JSW.V0I0.1731
45. Saha, P., Paramita, C., & Asok, K. (2010). NaCl pretreatment alleviates salt (*Vigna radiata* LWilczek). *Indian Journal Exprimental Bioogy, l48*, 593–600.
46. Sairam, R.K., Chandrasekhar, V., & Srivastava, G.C. (2001). Comparison of hexaploid and tetraploid wheat cultivars in their responses to water stress. *Biologia Plantarum, 44* (1), 89-94.
47. Shariatinia, F., Karimi Goghari, A.R., Amiri Jabalbarz, F., & Soltani Nejad, N. (2013). Investigating the effect of humic acid and salinity on vegetative growth and some physiological characteristics of cotton (*Varamin number*). *The First International Congress and the 13th National Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding*

and the Third Seed Technology Science Conference,5-1. (In Persian) https://sid.ir/paper/835279/fa

48. Shi, D.Sh.Y. (2008). Effects of various salt-alkaline mixed stress conditions on sunflower seedling and analysis of their stress factors. *Environmental and Research Botany*, 54, 8-21.
49. Sun, Y., Mu, C., Zheng, H., Lu, S., Zhang, H., Zhang, X. (2018). Exogenous Pi supplementation improved the salt tolerance of maize (*Zea mays* L.) by promoting Na^+exclusion. *Science Repro*, *8*(1), 1 –13. https://doi.org/10.1038/s41598 -018 -34320 - y
50. Tabatabaian, J. (2013). Investigating the effect of calcium in improving the damage caused by salinity stress in tomato plant. *Journal of Plant Production Research*, *2*, 125-137. https://20.1001.1.23222050.1393.21.2.7.9 (In Persian with English abstract)
51. Tadin, M.H., Tadin, A., & Esmaili, S. (2017). Investigating the morphophysiological traits of cotton cultivars under the influence of humic acid in saline soil. *Journal of Plant Process and Functions 7*(23), 249-262. (In Persian with English abstract)
52. Taghizadeh, N. (2016). Molecular evaluation of allotetraploid cottons for salinity tolerance, PhD Dissertation. Sari University of Sciences, Agriculture and Natural Resources. Iran. (In Persian with English abstract)
53. Tuna, A.L.C., Kayab, M., Ashraf, H., Altunlu, I., Yokas, I. & Yagmur, B. (2007). The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, *59*(2), 173-178. http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.envexpbot.2005.12.007
54. Wanichan, P., Kirdmanee, C., & Vutyano, C. (2003). Effect of salinity on biochemical and physiological characteristics in correlation to selection of salt tolerance in Aromatic rice (*Oriza sativa* L.). *Journal of Science Asian 29*, 333-339. http://dx.doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2003.29.333

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

Research Article
Vol. 16, No. 1, 2024, p. 115-128

The Effect of Chemical and Non-Chemical Nutrition Systems on Some Growth Traits, Yield and Yield Components of Hashemi Variety Rice (*Oryza sativa* L.) - A Case Study in Lahijan City, Gilan Province

Alireza Nosrati[1], Hamid Reza Doroudian[2]*, Sirous Bidarigh[2], Seyyed Mostafa Sadeghi[3] and Majid Ashouri[3]

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran, respectively.
(*- Corresponding author's Email: darya717@yahoo.com)

Received: 27-07-2022
Revised: 28-11-2022
Accepted: 03-12-2022
Available Online: 03-12-2022

How to cite this article:
Nosrati, A., Doroudian, H.R., Bidarigh, S., Sadeghi, S.M., & Ashouri, M. (2024). The effect of chemical and non-chemical nutrition systems on some growth traits, yield and yield components of Hashemi variety rice (*Oryza sativa* L.) - A case study in Lahijan city, Gilan province. *Journal of Agroecology*, *16*(1), 115-128. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2022.77867.1121

Introduction

Rice is a staple and valuable grain that is the main source of food for over 50 percent of the world's population after wheat (Lopez et al., 2019; Jabran and Chauhan, 2015). Rice production should increase by over 50 percent by 2050, which can be realized by improving its cultivars and applying sound agronomic management practices (Esfahani et al., 2005; Asadi et al., 2016). Nitrogen (N) is a key macroelement that is decisive for plants, but it is deficient in most farms. N fertilizer is applied chemically, organically, and biologically (Moslehi et al., 2015).

Materials and Methods

This research was conducted as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications at two sites at the experimental farm of Islami Azad University of Lahijan (the village of Tustan) and Kateshal farm in 2018-2019. The study site (Lat. 36°55' N., Long. 45°20' E. (first location) and Lat. 37°21' N., Long. 50°18' E. (second location)) has a temperate and humid climate with a 10-year mean annual precipitation of 1150 mm (Guilan Meteorological Quarterly, 2020). Table 1 presents the meteorological data of the region during the experiment. Before the experiment, the physical and chemical characteristics of the soil at the study site were measured in the laboratory of the Water and Soil Department of Rice Research Center. The experimental factors included organic, chemical fertilizer, and control as the three levels of the first factor and urban waste compost, biochar, and Azolla, and control as the four levels of the second factor. Statistical analysis of data, data conversion, and drawing of graphs and charts were done using SAS 9.2 and Excel 2010 software. The averages obtained were statistically compared with each other using Tukey's test and at the probability level of 5%.

Results and Discussion

The simple effects of the chemical, organic, and organic nutritional systems were found to be significant (P <

©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.2022.77867.1121

0.01) on grain yield. Based on the comparison of data means for both research farms, the highest grain yield of, on average, 3699 kg/ha was obtained from the treatment of chemical fertilizer and biochar, and the lowest one of 2209 $kg.ha^{-1}$ (40% lower than its maximum counterpart) from the control (unfertilized) treatment. Among the subplots, the biochar treatment was the most effective, and the control (unfertilized) was the least effective in this trait. The treatments that were fertilized with chemical N fertilizer produced more panicles per plant than the treatments that weren't. Among the sub-plots, the highest number of panicles per plant was related to the biochar treatments under no-fertilization, ecological, and chemical conditions, and the lowest number to the control (unfertilized treatment). The plants treated chemically and ecologically in the presence of biochar were the tallest, growing to a height of 127 and 124 cm, respectively, whereas the lowest plant height was 108 cm, related to the control (unfertilized plants).

Conclusion

The use of organic fertilizers alone or in combination with chemical fertilizers, in addition to improving the quantitative and qualitative characteristics of rice, has a positive effect on the sustainability of production and preservation of the environment. The results of this research showed that the application of nitrogen fertilizer and biochar, in addition to optimizing the application of fertilizer, increased the yield of rice. It was also found that the consumption of biochar caused an increase in traits related to grain yield. The role of biochar was evident in the significant change of the studied traits of Hashemi rice in the main treatments (control, ecological, and chemical). Therefore, it is recommended to use biochar along with chemical fertilizer in order to maintain yield, prevent biological pollution and increase soil and rice fertility.

Acknowledgments

The assistance of the esteemed personnel of the Islamic Azad University, Lahijan branch, who helped us in the implementation of this research, is gratefully acknowledged.

Keywords: Nitrogen, Nutrition, Organic, Paddy

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص ۱۲۸-۱۱۵

اثر سیستم‌های تغذیه شیمیایی و غیر شیمیایی بر برخی صفات رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) رقم هاشمی– مطالعه موردی در شهرستان لاهیجان استان گیلان

علیرضا نصرتی[۱]، حمیدرضا دورودیان[۲*]، سیروس بیدریغ[۲]، سید مصطفی صادقی[۳] و مجید عاشوری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۲

چکیده

به‌منظور مقایسه اثر سیستم‌های تغذیه شیمیایی و غیر شیمیایی بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات رشدی در برنج (رقم هاشمی) (*Oryza sativa* L.) شهرستان لاهیجان، آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو مکان (مزرعه کشاورز و مزرعه دانشگاه) در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. عامل‌های آزمایشی شامل تغذیه در سه سطح (شاهد، شیمیایی، بوم‌شناختی) به‌عنوان عامل اصلی و نوع ماده آلی (شاهد، کمپوست زباله شهری، بیوچار و آزولا) در چهار سطح به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج تجزیه مرکب نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۳۶۹۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار مصرف کود شیمیایی و بیوچار و کمترین عملکرد دانه به‌میزان ۲۲۰۹ کیلوگرم در هکتار (۴۰ درصد کاهش)، در شاهد (بدون مصرف کود) و بیشترین تعداد خوشه در بوته با میانگین ۲۸ عدد خوشه در بوته در تیمار مصرف کود شیمیایی به‌همراه بیوچار مشاهده شد. بالاترین ارتفاع بوته در تیمارهای شیمیایی و بوم‌شناختی (استفاده از اردک) با حضور بیوچار به‌ترتیب ۱۲۸/۳ و ۱۲۴/۵ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع بوته برنج به‌مقدار ۱۰۸/۳ سانتی‌متر، در شاهد (بدون مصرف کود) مزرعه دانشگاه مشاهده شد. بیش‌ترین درصد پروتئین دانه در شرایط مصرف کود شیمیایی به‌همراه بیوچار به‌مقدار ۸/۲۶ درصد و کمترین درصد پروتئین به‌میزان ۶/۸۱ درصد، در شاهد (بدون مصرف کود) به‌دست آمد. از نظر جذب عناصر ماکرو، بیشترین مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه به‌ترتیب با میانگین ۱/۷۹، ۰/۳۷ و ۰/۲۶۵ درصد در تیمار کود شیمیایی و بیوچار و کمترین مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه به‌ترتیب با میانگین ۱/۱۸، ۰/۲۱ و ۰/۱۳۲ درصد، در شاهد (بدون مصرف کود) مشاهده شد. در تیمارهای فرعی، بیشترین تأثیرگذاری روی مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه در تیمار مصرف بیوچار به‌همراه کود شیمیایی و بوم‌شناختی بود. درصد جذب عناصر غذایی در تیمار شیمیایی و بیوچار نسبت به سایر تیمارها بیشتر و معنی‌دار بود. سیستم‌های آلی و غیر شیمیایی اثرات متفاوتی در عملکرد گیاه برنج داشت و باعث کاهش میزان مصرف کودهای شیمیایی و افزایش عملکرد (شیمیایی و بیوچار به‌میزان ۳۶۹۹ کیلوگرم، ۶۷ درصد نسبت به شاهد، شیمیایی و کمپوست زباله شهری به‌میزان ۳۳۹۶ کیلوگرم و ۵۳ درصد نسبت به شاهد و شیمیایی و آزولا به‌میزان ۳۲۴۳ کیلوگرم در هکتار و ۴۷ درصد بیشتر نسبت به شاهد) می‌شوند. بیوچار باعث افزایش رشد، عملکرد و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی گیاه برنج شد.

واژه‌های کلیدی: آلی، کود، شالیزار، نیتروژن

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.)، یکی از مهم‌ترین غلات است که غذای اساسی و عمده بیش از ۵۰ درصد جمعیت جهان را تشکیل می‌دهد و نقش مهمی در ثبات اقتصادی و اجتماعی دارد (Jabran &Chauhan, 2015; Rajput et al., 2017) با توجه به جمعیت دنیا، تولید برنج تا سال مدیریت‌های صحیح زراعی محقق خواهد شد(۲۰۵۰ باید بیش از ۵۰ درصد افزایش یابد که در نتیجه اصلاح ارقام و اعمال(Asadi et al., 2016; Esfahani et al., 2005).

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: darya717@yahoo.com)
https://doi.org/10.22067/agry.2022.77867.1121

سطح تولید محصولات زراعی در ایران حدود ۱۱ میلیون هکتار است که ۸۰ درصد آن را غلات تشکیل می‌دهد. برنج پنج درصد (۶۳۷،۲۴۲ هکتار) سطح زیر کشت و ۴/۷ درصد (۲،۹۴۳،۲۶۴تن) تولید کل محصولات زراعی در ایران را تشکیل می‌دهد. این غله با ارزش در ۲۳ استان کشور کشت می‌شود. استان‌های مازندران و گیلان به‌ترتیب با ۲۵۳ و ۱۷۴ هزار هکتار در رتبه اول و دوم سطح زیر کشت و تولید برنج در کشور قرار دارند. هر چند که کاربرد مقادیر مناسب کودهای شیمیائی می‌تواند به افزایش عملکرد کمّی و کیفی گیاهان در کوتاه مدت کمک کند، ولی استفاده مکرر و بدون جایگزین کود شیمیایی نه تنها واکنش در مقابل کودها را کاهش می‌دهد، بلکه باعث تجمع این مواد در خاک و از بین رفتن برخی موجودات خاکزی، تخریب ساختار و بسته‌شدن و کاهش خلل و فرج خاک، کاهش حاصلخیزی، نفوذ به منابع آب زیر زمینی و آلودگی آن شود. مصرف بیش از حد کودهای شیمیائی سبب از بین رفتن ارتباط طبیعی باکتری‌های تجزیه‌کننده و محیط ریشه شده و در نتیجه، پویایی خاک را کاهش داده، آن را به یک بستر غیر زنده تبدیل می‌کند(Salehifar et al., 1970). مصرف بهینه کود، همواره نقشی کلیدی در افزایش عملکرد گیاهان زراعی، از جمله برنج ایفا می‌کند(Soltani & Karbalai Molki, 2022). نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصرکلیدی، پرمصرف و تعیین‌کننده رشد و عملکرد در گیاه می‌باشد. عدم مصرف نیتروژن در گیاه برنج در ابتدای پنجه‌دهی موجب کاهش ارتفاع بوته و عدم مصرف نیتروژن در مرحله خوشه‌دهی کامل سبب کاهش وزن هزار دانه می‌شود (khosravi et al., 2012). هر چند استفاده از کودهای معدنی سریع‌ترین راه برای تأمین حاصلخیزی خاک به‌شمار می‌رود، ولی هزینه‌های زیاد مصرف کود نسبت به روش غیر شیمیایی به‌همراه با آلودگی و تخریب محیط زیست و منابع آب و خاک و حتی کاهش عملکرد نگران‌کننده است Pampolino et al., 2007; Hassegawa et al., 2008). یکی از راه‌های بهبود کارآیی مصرف کودهای نیتروژنه و کاهش تلفات آن، مصرف همزمان با کودهای آلی است. کود آلی، کودی است که بر پایه کمپوست و دیگر افزودنی‌ها تولید می‌شود و این کود با افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در خاک، به رشد بستر گیاه کمک کرده و موجب افزایش عملکرد کمّی و کیفی محصول می‌گردد. در کود آلی می‌توان هر ماده آلی که به‌وسیله میکروب‌ها قابل تجزیه باشد، به‌کار گرفته شود. ارزش اصلی کودهای آلی به‌علت تغییرات فیزیکی است که در خاک ایجاد می‌کنند. کودهای آلی شامل کود حیوانی، کود گیاهی (کود سبز)، کود کمپوست می‌باشد (Board, 2004; Han & Lee, 2006). کودهای آلی مهم‌ترین عامل فراهمی ماده آلی در ریزوسفر گیاه می‌باشند(Tejada et al., 2008). کود آلی برخلاف کود شیمیایی برای خاک مضر نبوده و استفاده‌ی بیش از اندازه آن‌ها به گیاه نیز آسیبی نمی‌رساند. کود آلی برای رشد سبزی‌ها، افزایش گل‌دهی و سرسبزی چمن‌ها به‌کار می‌آید. هم‌چنین جهت تقویت دانه‌های. تازه کاشته شده، گیاهان جوان و حتی بالغ مصرف آن بسیار مناسب و به‌جا است. مقدار کود مورد نیاز گیاه بسته به فراهم بودن رطوبت در طول دوره رشد، نوع خاک و حاصلخیزی آن، و نوع رقم متفاوت است(Taghizadeh et al., 2008). کودهای آلی باعث افزایش ماده آلی و هم‌چنین اصلاح و تعدیل اسیدیته خاک شوند و به‌سبب بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مثل ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت نگهداری آب، افزایش فعالیت ریزجانداران و میزان دسترسی به مواد غذایی و باعث افزایش باروری خاک می‌شوند (Yagi, 2003). کاربرد صحیح کودهای آلی می‌تواند وابستگی به کودهای شیمیایی را برای بهبود تولید پایدار و ارگانیک از طریق کاهش اتلاف عناصر غذایی در محیط کاهش و کارآیی استفاده از مواد غذایی را افزایش دهد(Ye et al., 2011). استفاده از اردک به‌عنوان عامل زیستی در بهبود اکولوژیکی رشد برنج، علاوه‌بر افزایش تنوع زیستی، فعالیت موجودات زنده خاک، کارایی انرژی و رشد رویشی برنج، تغذیه از علف‌های هرز در حال رشد و بذور آن‌ها، باعث بهبود عملکرد برنج نیز می‌گردد (Wang et al., 2006; Flohre et al., 2011). اردک با غذیه از حشرات باعث کاهش تراکم آفت می‌شود. از سوییت دیگر، پرورش اردک علاوه‌بر فواید ذکر شده به‌عنوان یک منبع درآمد جانبی برای شالیکاران می‌باشد (Gharavi Baigi et al., 2014). در صورت استفاده از کود شیمیایی به‌همراه آزولا میزان عملکرد برنج نسبت به سایر روش‌های کشت بیشتر است. آزولا به‌همراه کود شیمیایی بیشتر رشد و نمو می‌کند و نیتروژن هوا را بیشتر تثبیت کرده و آن را به صورت تدریجی و مداوم در اختیار گیاه برنج قرار می‌دهد(Roger & Ladha, 1990). بیوچار یک محصول جامد و منبع تجدیدپذیر است که از یک فرآیند پیرولیز در شرایط اکسیژن کم و یا بدون اکسیژن به دست می‌آید و به‌سبب وجود گروه‌های عامل فراوان، درتغذیه گیاه، بهبود خاک خصوصیات خاک؛ افزایش بازده کودهای شیمیایی؛ مقابله با برخی آلودگی‌های زیست‌محیطی و کاهش گازهای گلخانه‌ای

استفاده شود. فرآیند پیرولیز می‌تواند باعث کاهش حجم لجن فاضلاب، از بین رفتن پاتوژن‌ها و تبدیل ماده آلی به سوخت زیستی، روغن و بیوچار باشد (Kammann et al., 2015; Schmidt et al., 2015). بیوچار همچنین می‌تواند با کاهش آبشویی از هدر رفت نیتروژن جلوگیری نماید (Lehmann 2007). بیوچار می‌تواند باعث افزایش قابلیت استفاده از کودهای فسفری و پتاسیمی شود (Lehmann & Joseph, 2015). با توجه به اهمیت تغذیه مناسب در برنج، هدف از اجرای تحقیق بررسی اثر سیستم‌های تغذیه شیمیایی و غیر شیمیایی بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات رشدی در برنج هاشمی (رقم غالب استان گیلان) بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو مکان شامل یک مزرعه در روستای کته‌شال (مزرعه در کوهپایه و آبیاری با آب رودخانه) و مزرعه آزمایشی دیگر در دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان (مزرعه در دشت و آبیاری با کانال آب) روی برنج (رقم هاشمی)، به‌صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. طول و عرض جغرافیایی مکان اول به‌ترتیب ۵۰ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی و ۳۷ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و برای مکان دوم به‌ترتیب ۴۵ درجه و ۲۰ شرقی و ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی بوده و محل آزمایش دارای آب و هوای معتدل و مرطوب است (جدول ۱). و میزان بارندگی سالانه بر حسب میانگین ۱۰ ساله برابر با ۱۳۳۰ میلی‌متر می‌باشد.

بافت خاک محل آزمایش رسی لومی با pH=۶/۱، هدایت الکتریکی در در مکان اول و دوم به‌ترتیب ۰/۷ و ۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر و فسفر و پتاس قابل جذب در مکان اول به‌ترتیب ۱۲/۲ و ۲۰۵ و در مکان دوم به‌ترتیب ۱۳/۸ و ۲۱۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (جدول ۲).

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی سال ۱۳۹۷ در دو مکان (یک شهرستان) انجام طرح

Table 1-Meteorological information of 2017 in two locations (one city) of the project

مشخصات هواشناسی Climatic item	فروردین 21 Mar.-20 Apr.	اردیبهشت 21 Apri.-16 May.	خرداد 17 May-16 Jun.	تیر 17 Jun.-18 Jul.	مرداد 19 Jul.-18 Agu.	شهریور 20 Agu.-19 Sep.
دما Mean temperature (°C)	13.7	18.5	22.3	27.5	26.7	23.9
بارندگی Rainfall (mm)	20.3	22.5	60.4	70.8	107.8	20.5
حداقل دما Minimum temperature (°C)	12.1	12.4	16.7	22	22.3	19.3
حداقل دما Maximum temperature (°C)	15.3	24.6	28	33.1	31.2	30.3
سرعت باد Wind speed ($m.s^{-1}$)	38	54	40	36	28.8	36

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل‌های اجرای آزمایش

Table 2- Physical and chemical characteristics of soil of experiment farm (0-30 cm depth)

مکان Location	درصد کل نیتروژن N (%)	پتاسیم قابل جذب K vailable ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب P vailable ($mg.kg^{-1}$)	اسیدیته pH	ماده آلی OC (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	بافت Texture
مزرعه کته‌شال Kateshal farm	0.9	205	12.2	6.1	2.2	0.7	لومی رسی
مزرعه دانشگاه University farm	0.86	213	13.8	6.2	2.1	0.6	

تیمارهـای آزمایشـی شـامل نـوع کـود در سـه سـطح (شـامل اکولوژیک، شیمیایی و شاهد) به‌عنوان عامل اصـلی و نـوع مـاده آلـی (کمپوست زباله شهری، بیوچار، آزولا و شاهد) در چهار سطح به‌عنوان عامل فرعی بودند. رقم مورد استفاده در آزمایش هاشمی بود. مزرعـه محل انجام آزمایش، سه بار شخم زده شد که شخم اول در اسفند ماه، شخم دوم در اواسط اردیبهشت همزمان با احداث خزانه و شخم سـوم (پادلینگ یا پیش کاول) همزمان با نشاکاری برنج انجام شـد. بـذور در خزانه و زیر پوشش پلاستیکی پرورش داده شده و هنگامی که ارتفـاع نشاها ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر (سه تا چهار برگـی شـدن نشـا) رسـید، بـا انتخاب گیاهچه‌های سالم و یکنواخت برنج از خزانه بـه زمـین اصـلی منتقل گردیدند. کود نیتروژنه از منبع اوره (۴۶ درصد نیتـروژن)، کـود پتاسیمی از منبع سولفات پتاسیم و کود فسفر از منبـع سـوپر فسـفات تریپل بر اساس تیمارهای آزمایشی و نتایج آزمـون تجزیـه خـاک بـه کرت‌ها افزوده شدند. چهار تن در هکتار بیوچار (تهیه شده از زیسـت-توده گیاهی و ضایعات کشاورزی؛ ترکیب کاه گندم و درختان جنگلـی شمال ایران به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک) در تیمارهای مورد نظر قبـل از نشاکاری در عمق ۲۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. برای تیمـار بوم‌شناختی از ۶۰۰ عدد اردک در هکتار استفاده شد. آزادسازی جوجـه اردک‌ها در تیمارهای آزمایشی با سن ۲۰ روز پـس از گذشـت ۲۰ روز از نشاکاری در زمین اصلی انجام شد. برای جداسازی اردک‌ها و اعمال تیمارها، مزرعه آزمایشی به‌وسیله توری‌های فلزی و درون مزرعه بـه-وسیله توری‌های پلاستیکی جدا شده‌اند و روزانه جهت ترغیب بیشـتر اردک‌ها به تغذیه از آفات و علف‌های هرز به‌میزان ۳۰ درصد کمتـر از حد مطلوب تغذیه شدند(Mohammadi et al., 2012).آزولا به‌میزان پنج تن در هکتار برای تیمارهای مورد نظر استفاده شد. در طـول دوره رشد برنج از هیچ علف‌کش، حشره‌کش و یا قارچ‌کشـی بـرای تمـامی تیمارها استفاده نشد. برای مبارزه بـا کـرم سـاقه‌خـوار بـرنج از زنبـور تریکوگاما و تله نوری استفاده شد. برای مبارزه با علف‌هـای هـرز ۲۱ روز پـس از نشـا، وجـین اول (۳ خـرداد ۱۳۹۷) و ۱۴ روز پـس از آن، وجین دوم انجام شد. آرایش کشت برنج ۲۰ × ۲۰ سانتی‌متر، ابعاد هر کرت آزمایشی ۶ × ۳ متر و تعداد ردیف‌های کاشـت ۳۰ × ۱۵ ردیـف بود. جهت سهولت در نمونه‌گیری و رفت و آمد در داخل کرت‌هـا، ۵۰ سانتی‌متر فاصله بین تیمارها در نظر گرفته شد. میـزان پـروتئین دانـه برنج از روی درصد نیتـروژن نمونـه بـا اسـتفاده از روش کجـدال بـا دستگاه اتوآنـالیز مـدل DA_{7200} تعیـین شـد. بـا انـدازه‌گیـری میـزان نیتروژن، میزان پروتئین از حاصل‌ضرب درصد نیتروژن دانه در ضریب ۶/۲۵ به‌دست آمد(Payegozar, 2008; Raei et al., 2015) . در زمان گل‌دهی، محتوای کلروفیل برگ توسـط دسـتگاه کلروفیـل‌متـر SPAD-502 اندازه‌گیری شد. در ابتدا، پس از روشن کـردن دسـتگاه یک بار آن را بدون قرار دادن برگ در محفظه برگ قرائت نمـوده تـا دستگاه کالیبره شود و سپس، کار قرائت را از سـه نقطـه از هـر بـرگ انجام و بعد میانگین سه نقطه را با دکمه اوریـج مشـخص مـی‌کننـد. لازم به ذکر است که نمونـه‌بـرداری نبایـد از روی رگبـرگ‌هـا انجـام شود(Saebmeh et al., 2024). در زمان برداشـت، تعـداد خوشـه در مترمربع، تعداد کل و پر و پوک در خوشه، وزن هـزار دانـه و عملکـرد اقتصادی ثبت شد (Esfahani et al., 2005). برای تعیین تعداد دانـه کل، ۳۰ خوشه مربوط بـه ۳۰ کپـه در هـر جداگانـه شـمارش و ثبـت گردید. برای محاسبه وزن هزار دانه تعداد هزار کرت به‌طور تصـادفی انتخاب و از ناحیه طوقه جدا و تعداد دانه کـل، پـر و پـوک بـرای هـر خوشه دانه از بذور بوجاری شده هر کرت بـا دسـت بـه‌طـور تصـادفی شمارش و با ترازوی الکتریکی با دقت یک هزارم گرم تـوزین گردیـد. برای تعیین تعداد خوشه در واحد سطح از هـر کـرت ۲۵ کپـه انتخـاب پس از تفکیک خوشه‌های بارور و غیربارور تعـداد خوشـه‌هـای بـارور نهایی در واحد سطح محاسبه شد(Taghizadeh et al., 2008). برای اندازه‌گیری بلندی و ارتفاع بوته‌ها تعداد ۱۰ بوته هر کـرت (دو ردیـف کناری طولی و یک ردیف عرضی به‌عنوان اثر حاشیه در نظـر گرفتـه شد) انتخاب شدند، سپس ارتفاع آن‌ها به‌وسیله متـر بـا دقـت در حـد میلی‌متر از سطح خاک تا نوک بلنـدترین خوشـه انـدازه‌گیـری شـد و سپس میانگین ارتفاع این ۱۰ بوته به‌عنوان ارتفاع بوته‌هـای بـرنج در نظر گرفته شد. برای برداشت جهت تعیین عملکرد اقتصـادی، بعـد از جداسازی حاشیه از هر طرف، ۵۰ بوته از هرکرت برداشـت و پـس از خرمن‌کوبی، تمیز و خشک نمودن، وزن و همزمـان بـا رطوبـت‌سـنج، رطوبت آن اندازه‌گیری و سپس، وزن دانه بر حسب رطوبت ۱۴ درصـد تعیین شد. محاسبات آماری با استفاده از نـرم‌افـزار SAS نسـخه ۹/۲ (SAS, 2002) جهت تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با اسـتفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفـت. بـرای رسـم

نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد پروتئین دانه

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که بین دو مکان به‌لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد، اثرات ساده تغذیه (سطح احتمال یک درصد)، ماده آلی (سطح احتمالی پنج درصد) و اثر متقابل تغذیه و ماده آلی (سطح احتمال یک درصد) روی درصد پروتئین دانه وجود داشت (جدول ۳). بیش‌ترین درصد پروتئین دانه در شرایط مصرف کود شیمیایی به‌همراه بیوچار به‌مقدار ۸/۲۶ درصد و کمترین درصد پروتئین به‌میزان ۶/۸۱ درصد، در شاهد (بدون مصرف کود) به‌دست آمد (جدول ۴ و شکل ۱). کود نیتروژنه بدون توجه به منبع آن بر درصد پروتیئن دانه در این تحقیق تأثیر داشت. مصرف کود نیتروژن در زمان مناسب و به‌مقدار مناسب سبب افزایش محتوای نیتروژن دانه و محتوای پروتئین دانه می‌شود(Ma et al., 2024). با افزایش مصرف کود نیتروژنه، درصد پروتئین دانه به علت جذب نیتروژن بیشتر از خاک، افزایش فتوسنتز و افزایش غلظت نیتروژن در اندام‌های هوایی و در نتیجه، انتقال نیتروژن بیشتر به دانه افزایش یافت. افزایش درصد پروتئین دانه با کاربرد کود نیتروژنه، پیشتر توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است(Gholinezhad, 2014). مصرف کودهای نیتروژنی در آخر فصل رشد غلات یا پس از دوره‌ی گل‌دهی سبب افزایش مقدار پروتئین دانه شد. از آنجایی که که کمپوست مانع آبشویی نیتروژن می‌شود و نیتروژن موجود را برای مدت طولانی‌تری در اختیار گیاه قرار می‌دهد، بنابراین با افزودن کمپوست زباله شهری درصد پروتئین دانه گندم (*Triticum aestivum* L.) افزایش یافت (Noor et al., 2023). افزودن کمپوست آزولا به‌عنوان یک منبع گیاهی نیتروژنه باعث افزایش در مقدار پروتئین می‌شود (Kannaiyan & Kumar, 2005). افزایش میزان نیتروژن مصرفی در می‌شود که به نظر می‌رسد، به‌دلیل افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه، بالا رفتن میزان تبخیر و تعرق در سطح گیاه و کاهش دما در سطوح بالای نیتروژن باشد(Ayeneh et al., 2002). بیشترین میزان پروتئین دانه از مصرف هشت تن در هکتار بیوچار حاصل شد که نسبت به عدم مصرف بیوچار دو درصد افزایش نشان داد که این امر با توانایی بیوچار در حفظ و نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از آبشویی آن‌ها مرتبط است (Sobhani et al., 2021).

شاخص کلروفیل‌متر

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر ساده مکان روی شاخص کلروفیل‌متر در شرایط تغذیه و مصرف مواد آلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج حاصل از تجزیه واریانس در مکان اول و دوم نشان داد که اثر تیمارهای تغذیه و مواد آلی و اثر متقابل تغذیه و ماده آلی بر شاخص کلروفیل‌متر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیش‌ترین شاخص کلروفیل-متر در شرایط مصرف کود شیمیایی به‌همراه بیوچار به‌مقدار ۴۰/۲ و کمترین شاخص کلروفیل‌متر به‌میزان ۳۶/۲، در شاهد (بدون مصرف کود) به‌دست آمد (جدول ۴). از آنجایی که میزان کلروفیل با فراهمی کودها در ارتباط است (Špulák et al., 2014). با توجه به این موضوع، کود شیمیایی اوره و بیوچار با فراهمی مطلوب و به‌هنگام میزان نیتروژن بر میزان عدد کلروفیل‌متر تأثیر گذاشته و عدد کلروفیل‌متر بالاتر و همین‌طور تغییر رنگ برگ‌ها در مزرعه به‌صورت سبز پر رنگ شدن در کرت‌هایی که کود شیمیایی دریافت کرده بودند، اتفاق افتاد. به‌دلیل تجمع بیش از ۷۰ درصد نیتروژن در کلروپلاست برگ‌های گیاه، افزایش نیتروژن در گیاه توأم با افزایش غلظت کلروفیل و نیتروژن برگ بوده است و همچنین، افزایش نیتروژن باعث بهبود رنگ گیاه می‌شود، به عبارتی سبزی را در گیاه تشدید می‌کند که بر قرائت اعداد کلروفیل‌متر تأثیر می‌گذارد. از آنجایی که نیتروژن از عناصر تشکیل‌دهنده کلروفیل محسوب می‌گردد، از این رو افزایش آن در محیط رشد گیاه از طریق کاربرد سطح بالاتر کود مرغی پلیت شده، منجر به افزایش میزان کلروفیل در تیمار سطح بالاتر کود مرغی پلیت‌شده گردیده است. نتایج مشابهی مرتبط با متفاوت بودن عکس-العمل ارقام مختلف نسبت به قرائت‌های کلروفیل‌سنج توسط(Schepers Blackmer et al., 1996) در ذرت (*Zea mys* L.) گزارش شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب پارامترهای اندازه‌گیری شده در شرایط تغذیه و مواد آلی برنج رقم هاشمی

Table 3. Combined analysis of variance of parameters measured in nutritional conditions and organic matter of Hashemi variety rice

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع گیاه Height	عملکرد دانه Grain yield	تعداد خوشه در بوته Number of panicles	تعداد دانه در خوشه Number of grains	دانه پر در خوشه Number of filled grains	دانه پوک در خوشه Number of unfilled grains	وزن هزار دانه Thousand-grain weight	درصد پروتئین دانه Protein (%)	عدد کلروفیل متر SPAD
مکان Location	1	9.3	1031048**	86.6**	177.34**	308.3**	18**	0.534	0.686**	1.742**
بلوک (مکان) Locatin (place) (L)	2	0.18	1108.5	0.18	0.263	0.18	0.0416	0.0105	0.00056	0.0022
تغذیه Nutrition (N)	2	458**	3743759**	156.7**	451.09**	586.6**	10.26**	5.66**	2.227**	14.28**
تغذیه × مکان L × N	2	0.84	9570.04	0.05	0.181	0.347	0.041	0.0038	0.00056	0.0022
خطا۱ Error1	8	7.97	3335.5	0.305	0.263	0.236	0.361	0.681	0.00184	0.0043
ماده آلی Organic matter (O)	3	452.9**	1483582**	135.01**	1231.3**	1504.12**	29.74**	2.12*	2.18**	12.85**
N × O	6	43.7**	134107**	19.05**	52.61**	60.6**	1.837**	1.188*	0.1587**	2.21**
L × O	3	0.91	8	0.236	0.199	0.34	0.037	0.005	0.00056	0.0023
L × N × O	6	0.47	9570.04	0.278	0.254	0.347	0.023	0.008	0.00056	0.0023
خطای ۲ Error 2	30	2.25	2897.4	0.269	0.371	0.225	0.271	0.339	0.0041	0.024
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		1.29	1.9	2.58	0.61	0.49	11.03	2.35	0.89	0.41

**, * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد

**, *: are significant at the level of 1 and 5 percent, respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل اثر سیستم‌های تغذیه و مواد آلی روی صفات مورد بررسی برنج

Table 4- Comparison of the average interaction effect of nutrition systems and organic matter on the studied traits of rice

سیستم تغذیه Nutrition systems	مواد آلی Organic matter	ارتفاع Height (cm)	درصد پروتئین Protein (%)	شاخص کلروفیل‌متر SPAD (%)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	تعداد خوشه در بوته Number of panicle/plant	تعداد دانه در خوشه Number of grain/panicle	تعداد دانه پر در خوشه Number of filled grains/panicle	تعداد دانه پوک در خوشه Number of unfilled grains/ panicle
کنترل Control	Control	108.3 g	6.81fg	36.2 f	2208 h	16 j	90.3 l	84 k	6.3 a
	Compost	113.3 de	7.1 e	37.6 cd	2486 g	17 hi	96.5 fg	90 h	6.5 a
	Biochar	113.1 de	7.4 c	37.6 cd	2925.3 d	20 ef	103.5 d	99 d	4.5 bc
	Azolla	108.5 fg	6.9 f	36.8 e	2485 g	16 j	93.5 jk	89 i	4.50cde
شیمیایی Chemical	Control	113.8 de	7.22 de	37.9 c	2700 e	18 gh	94.5 hij	89 i	5.5 ab
	Compost	121.2 c	7.68 b	38.95b	3396 c	23 bc	107.5 c	103 c	4.5 bc
	Biochar	128.3 a	8.26a	40.22a	3698.67a	27.8 a	118.8a	115.5a	3.3 d
	Azolla	112.8 de	7.1 e	36.9 e	3243.00b	21 de	97.5 ef	94 e	3.5 cd
اکولوژیکی Ecological	Control	111.5 ef	6.72 g	36.52 f	2479 g	17 hi	92.5 k	86 j	6.5 a
	Compost	118.6 c	7.2 de	37.8 cd	2550 fg	19 fg	98.5 e	93 f	5.5 ab
	Biochar	124.5 b	7.3 cd	37.75bc	2873 d	23.5 b	111.5 b	109 b	2.5 e
	Azolla	115.5 d	6.83 f	36.9 e	2650.6 ef	22 cd	95.5 gh	92 g	3.5 cd

ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس مرکب بیانگر اختلاف معنی‌دار اثر تغذیه و ماده آلی و برهم‌کنش آن‌ها (در سطح احتمال یک درصد) بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با استفاده از بوم‌شناختی (استفاده از اردک) و کود شیمیایی ارتفاع بوته افزایش یافت. بالاترین ارتفاع بوته در تیمارهای شیمیایی و بوم‌شناختی با حضور بیوچار به ترتیب ۱۲۸/۳ و ۱۲۴/۵ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع بوته برنج به‌مقدار ۱۰۸/۳ سانتی‌متر، در شاهد (بدون مصرف کود) مزرعه دانشگاه مشاهده شد. در واقع، تیمارهایی که کود شیمیایی و بوم‌شناختی دریافت کرده بودند، از ارتفاع بوته بیشتری در مقایسه با تیمارهایی که کود بوم‌شناختی و شیمیایی در آن‌ها استفاده نگردید، برخوردار بودند. در تیمارهای فرعی، بیشترین تأثیر روی ارتفاع بوته مربوط به تیمار بیوچار و کمترین اثر روی ارتفاع مربوط به شاهد (بدون مصرف کود) بوده است (جدول ۴). اثر کاربرد کودشیمیایی در افزایش ارتفاع بوته را نیز می‌توان مستقیم به افزایش نیتروژن نسبت داد. افزایش میزان نیتروژن، ارتفاع بوته و سرعت رشد محصول را افزایش می‌دهد(Fageria, 2001). درحالی‌که کمبود نیتروژن نسبت به کاهش ارتفاع و قدرت پنجه‌زنی در غلات می‌شود. مصرف کود شیمیایی کامل همراه با مکمل‌های کود آلی به‌دلیل بهبود شرایط تغذیه و فراهم‌شدن عناصر مورد نیاز جهت رشد گیاه سبب افزایش ارتفاع بوته برنج می‌گردد(Ashouri, 2012). کود آلی نقش ویژه‌ای در تولید و ترشح هورمون‌های رشد نظیر اکسین و جیبرلین دارد که همراه با تثبیت نیتروژن، باعث رشد بهتر و افزایش ارتفاع بوته می‌شود(Kandil et al., 2002). دیوسالار و همکاران(Divsalar et al., 2011). گزارش نمودند که بیشترین ارتفاع بوته از تیماری حاصل شد که در آن، از تلفیق کود ارگانیک (Bio1555) و ۱۰۰ درصد کود نیتروژن در سه تقسیط استفاده گردید. با افزایش مصرف کود نیتروژن تا یک حد معین، ارتفاع گیاه برنج به‌طور تصاعدی افزایش می‌یابد(Tabar, 2013; Tayefe et al., 2014). مصرف کود شیمیایی کامل همراه با مکمل‌های کود آلی به‌دلیل بهبود شرایط تغذیه‌ای و فراهم شدن عناصر مورد نیاز جهت رشد گیاه، سبب افزایش ارتفاع بوته برنج می‌گردد (Ashouri, 2012).

عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش نشان داد که اثرات ساده مکان، تغذیه و ماده آلی روی عملکرد و اجزای عملکرد دانه (بجز وزن هزار دانه در مکان) و اثر متقابل سیستم‌های تغذیه‌ای شیمیایی، بوم‌شناختی و آلی روی عملکرد دانه و تعداد دانه پر در خوشه در سطح احتمال یک درصد و روی تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه و تعداد دانه پوک در خوشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها در هر دو مزرعه تحقیقاتی، بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۳۶۹۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار مصرف کود شیمیایی و بیوچار و کمترین عملکرد دانه به‌میزان ۲۲۰۹ کیلوگرم در هکتار (۴۰ درصد کاهش)، در شاهد (بدون مصرف کود) مشاهده شد. بیشترین تعداد خوشه در بوته با میانگین ۲۸ عدد خوشه در بوته (جدول ۴) و بیشترین تعداد دانه در خوشه با میانگین ۱۱۹ دانه در تیمار مصرف کود شیمیایی به‌همراه بیوچار و کمترین تعداد خوشه در بوته به‌میزان ۱۶ عدد (۴۳ درصد کاهش) در شاهد (و ماده آلی آزولا) و کمترین تعداد دانه در خوشه به‌میزان ۹۰ عدد، شاهد (بدون مصرف کود) مشاهده شد. در واقع، تیمارهایی که کود شیمیایی نیتروژن دریافت کرده بودند، از تعداد خوشه در بوته بیشتری در مقایسه با تیمارهایی که کود شیمیایی نیتروژن در آن‌ها استفاده نگردید، برخوردار بودند. در تیمارهای فرعی، بیشترین تعداد خوشه در بوته مربوط به تیمارهای بیوچار با در شرایط بدون مصرف، بوم‌شناختی و شیمیایی ثبت شد و کمترین مقدار مربوط به شاهد (تیمار ماده آلی آزولا و تیمار بدون مصرف کود) بوده است. بیشترین تعداد دانه پر در خوشه با میانگین ۱۱۶ دانه پر در خوشه (جدول ۴) در تیمار مصرف کود شیمیایی و بیوچار و کمترین تعداد دانه پر در خوشه به‌میزان ۸۴ عدد، در شاهد (بدون مصرف کود) مشاهده شد. در تیمارهای فرعی، بیشترین تأثیر بر تعداد دانه پر در خوشه مربوط به تیمار بیوچار است و کمترین مربوط به شاهد (بدون مصرف کود) بوده است. کمترین تعداد دانه پوک در خوشه با میانگین ۲/۵ دانه پوک در خوشه در تیمار بوم‌شناختی و بیوچار و بیشترین تعداد دانه پوک در خوشه به‌میزان ۶/۵ عدد، در تیمارهای شاهد (کمپوست زباله شهری) و بوم‌شناختی و شاهد مشاهده شد (جدول ۴). در تیمارهای فرعی، بیشترین تأثیر بر تعداد دانه پوک در خوشه مربوط به تیمار بیوچار است و کمترین تعداد مربوط به شاهد (بدون مصرف کود) بوده است. بین تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه در خوشه (دانه پر و پوک) همبستگی

مثبت و معنی‌داری وجود دارد که با افزایش تعداد خوشه، بر تعداد دانه در خوشه نیز افزوده می‌شود. همچنین، همبستگی معنی‌داری بین تعداد خوشه در واحد سطح با تعداد دانه در مترمربع و عملکرد نهایی دانه در برنج وجود دارد. در این تحقیق، اثر ساده سیستم‌های تغذیه‌ای شیمیایی، بوم‌شناختی و آلی روی وزن هزار دانه معنی‌دار نبود و در بین صفات، اجزای عملکرد تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری روی وزن هزار دانه نداشت. زمانی که بیوچار به‌همراه کود شیمیایی و یا بوم-شناختی (اردک) استفاده شد، عملکرد گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که افزایش عملکرد دانه در اثر افزایش تعداد پنجه بارور، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه و تعداد دانه پر در خوشه اتفاق افتاده است. مصرف کود شیمیایی کامل به‌همراه مکمل‌های کود آلی به‌دلیل افزایش فعالیت فتوسنتزی و انتقال موجودات مواد پرورده از برگ‌ها به دانه، سبب افزایش عملکرد نهایی دانه گردید(Ashouri, 2012). تیلهام و همکاران(Tilahun et al., 2013) با بررسی اثرهای کودهای دامی و شیمیایی بر رشد و عملکرد برنج گزارش نمودند که بیشترین عملکرد دانه (۵/۰۱ تن در هکتار)، از تیمار ترکیبی ۱۵ تن در هر هکتار کود دامی و۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به‌دست آمد. واکاری و همکاران(Vaccari et al., 2011) کاربرد ۶۰ تن در هکتار بیوچار تولید شده از چوب جنگلی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۰ درصد افزایش در عملکرد گندم را گزارش کردند. سطح ویژه زیاد بیوچار سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و جذب عناصر غذایی شده و همچنین، در کنترل آلودگی مؤثر است. میزان آب جذب شده به‌طور مستقیم به سطح ویژه بیوچار بستگی دارد و به همین دلیل، کاربرد بیوچار در خاک موجب جذب مقادیر زیادی آب می‌شود. با افزودن بیوچار به خاک به‌دلیل افزایش سطح ویژه خاک، در خاک‌های رسی از تجمع زیاد آب جلوگیری شده و هوادهی خاک‌های رسی افزایش می-یابد و در خاک‌های شنی نیز ظرفیت نگهداری آب بیشتر شده و از هدررفت آب جلوگیری می‌شود(Gebremedhin et al., 2015). کاربرد بیوچار باعث افزایش ۵۶ درصدی عملکرد دانه، بهبود ویژگی-های خاک و افزایش زیست‌توده گردید(Khalvati et al., 2005). افزایش عملکرد در تیمارهای بیوچار از اثر اصلاح‌کننده خاک بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی خاک ناشی می‌شود. زاید و همکاران(Zayed et al., 2013) با بررسی اثرات تلفیقی کودهای نیتروژن و کمپوست مواد آلی بر عملکرد برنج در طی دو سال زراعی، اظهار نمودند که بیشترین تعداد خوشه در کپه در سال اول (۱۵ خوشه) از مصرف ۱۶۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و در سال دوم (۱۴ خوشه) از مصرف تلفیقی پنج تن در هکتار کمپوست کاه و۱۱۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن حاصل شد، درحالی‌که کمترین تعداد خوشه در کپه در شرایط شاهد یا بدون مصرف کود به دست آمد. راب و همکاران(Abdul Rab et al., 2016) . به کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه لوبیای بالدار در مقادیر ۵۰ و ۷۵ تن در هکتار اشاره داشتند و دلیل آن نیز افزایش بیشتر نسبت کربن به نیتروژن در تیمارهایی با میزان مصرف بیوچار زیادتر و غیرمتحرک شدن نیتروژن و آمونیوم معرفی نمودند. در این تحقیق، مصرف همزمان بیوچار (چهار تن در هکتار) و کود شیمیایی نیتروژن بهتر از مصرف هر یک از این مواد به‌تنهایی بود. علاوه‌براین، بیوچار با بهینه کردن اسیدیته خاک شرایط مناسبی را برای جذب عناصر فراهم می-کند. تعداد دانه پوک در تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن مورد نیاز گیاه به‌ترتیب ۲۰ و ۳۰ درصد بالاتر از تیمارهای کود زیستی + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن مورد نیاز گیاه بود. اصفهانی و همکاران (Esfahani et al., 2005) ضمن گزارش افزایش تعداد دانه پوک در کاربرد زیاد کود نیتروژنه بیان کردند که در سطوح بالای نیتروژن به‌علت افزایش تعداد خوشه‌چه در خوشه رقابت زیادی برای کربوهیدرات‌ها بین آن‌ها به‌وجود می‌آید و در نتیجه، تعداد دانه پوک در خوشه زیاد می‌شود. نیک‌نژاد و همکاران(Niknejad et al., 2016) نیز مشابه با نتایج پژوهش حاضر گزارش کردند که در سطوح بالای کود نیتروژنه تعداد دانه‌های پوک افزایش نشان می‌دهد که می‌تواند ناشی از تولید تعداد دانه بیش‌تر در اثر مصرف بیش‌تر نیتروژن باشد که این دانه‌های زیاد در اثر محدودیت مواد فتوسنتزی پر نشده و رقابت درون بوته‌ای سبب افزایش تعداد دانه پوک می‌شود. وزن هزار دانه یکی از اجزای مهم عملکرد در برنج محسوب می‌شود که یک صفت ژنتیکی بوده و از پایدارترین خصوصیات واریته‌ای به-شمار می‌رود.

نتیجه‌گیری

کاربرد کودهای آلی به‌تنهایی و یا در ترکیب با کود شیمیایی علاوه‌بر بهبود خصوصیات کمّی و کیفی برنج در پایداری تولید و حفظ محیط زیست تأثیر مثبت دارد. بیوچار به‌دلیل داشتن ساختار متخلخل، سطح ویژه زیاد و و بارهای منفی سطحی، باعث بهبود در ویژگی‌های

خاک و در نتیجه، ایجاد شرایط بهینه برای رشد گیاه برنج شد. نتایج نشان داد که مصرف کود نیتروژنه و بیوچار علاوه‌بر بهینه‌سازی مصرف کود، سبب افزایش عملکرد برنج شد. مصرف بیوچار سبب افزایش صفات مربوط به عملکرد دانه شده است. استفاده همزمان بیوچار و کودهای شیمیایی، اثرات بهتری نسبت به کاربرد هر یک از آن‌ها به‌تنهایی داشت. نقش بیوچار در تغییر معنی‌دار صفات بررسی شده برنج رقم هاشمی در تیمارهای اصلی (شاهد، بوم‌شناختی و شیمیایی) مشهود بود. بیوچار باعث افزایش رشد، عملکرد و اجزای عملکرد و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی گیاه برنج رقم بومی هاشمی شد. بر اساس نتایج این تحقیق و بررسی‌های بیشتر، تولید برنج از طریق مصرف کمتر کود شیمیایی به‌واسطه قیمت جهانی آن، جلوگیری از آلودگی زیستی و افزایش باروری خاک و برنج و استفاده از مواد آلی و بیوچار می‌تواند در مناطق شالیکاری ترویج گردد.

سپاسگزاری

از مساعدت پرسنل محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان که در اجرای این تحقیق ما را یاری (زمین دانشگاه و همکاری علمی و تدارکاتی در بخشی از اجرا) کردند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Abdul Rab, A., Rabnawaz Khan, M., Ul Haq, S., Zahid, S., Asim, M., Afridi, M.Z., Arif, M., & Munsif, F. (2016). Impact of biochar on mungbean yield and yield components. *Pure and Applied Biology*. 5(3), 632-640. https://doi.org/10.19045/bspab.2016.50082
2. Asadi, R., Alizadeh, A., Ansari, H., Kavousi, M., & Amiri, A. (2016). The effect of water and nitrogen consumption on yield, yield components and water productivity in rice cultivation. *Water Research in Agriculture*. 30(2), 157-145. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/jwra.2016.106640
3. Ashouri, M. (2012). The effect of water saving irrigation and nitrogen fertilizer on rice production in paddy fields of Iran. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, *2*(1), 56-59. (In Persian with English abstract)). https://doi.org/ 10.7763/IJBBB.2012.V2.70
4. Ayeneh, A., Van Ginkel, M., Reynolds, M.P., & Ammar, K. (2002). Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Research*. *79*, 173-184. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00138-7
5. Board, N. (2004). The complete technology book on bio-fertilizer and organic farming. National Institute of Industrial Research (NIIR) pp. 620.
6. Divasalar, R., Sam Daliri, M., Nasiri, M., Amiri Larijani, B., Mousavi Amirkalaei, A.A., & Sadeghi, N. (2011). Investigation of the effect of combining organic fertilizer and nitrogen on yield and grain yield components in a modern rice cultivation management system. *Journal of Agricultural Research*. *3*(2), 229-217. (In Persian with English abstract)
7. Esfahani, M., Sadrzadeh, S.M., Kavousi, M., Dabbagh Mohammadinasab, A. (2005). Effects of different amounts of nitrogen and potassium fertilizers on the yield, yield components, and growth of Caspian rice cultivar. *Iranian Journal of Crop Sciences 7*(3), 226-240. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.15625540.1384.7.3.4.0
8. Fageria, N. K. (2001). Nutrient management for improving upland rice productivity and sustainability. *Soil Science and plant Analysis 32*, 2603 -2629.
9. Flohre, A., Rudnick, M., Traser, G., Tscharntke, T., & Eggers, T. (2011). Does soil biota benefit from organic farming in complex vs. simple landscapes? *Agriculture, Ecosystems and Environment. 141:*(1-2), 210-214. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.032
10. G Gebremedhin, G.H., Haileselassie, B., Berhe, D., & Belay, T. (2015). Effect of biochar on yield and yield components of wheat and post-harvest soil properties in Tigray, Ethiopia. Journal of Fertilizers and Pesticides. 6, 158-162. https://doi.org/10.4172/jbfbp.1000158
11. Gharavi Baigi, M., Pirdashti, H., Abbasian, A., Aghajaniye Mazandarani, G. (2014). Response of yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L. cv. Tarom Hashemi) in rice, duck and azolla (*Azolla* sp.) farming. *Journal of Agroecology*. *6*(3), 477-487. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V6I3.43413
12. Gholinejad, A., 2014. Effect of drought stress, plant density and nitrogen amounts on morphophysiological characteristics and qualitative traits of sunflower oil in Urmia climate. *Research in Agricultural Ecosystems*. *1*(3), 58-41. (In Persian with English abstract).

13. Han, H.S., Supanjani, D., & Lee, K.D. (2006). Effect of coin coculation with phosphate andpotassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. *Plant, Soil and Environment. 52*, 130-136.
14. Hassegawa, R.H., Fonseca, H., Fancelli, A.L., Da Silva, V.N., Schammass, E.A., Reis, T.A., & Correa, B. (2008). Influence of macro and micro nutrient fertilization on fungal contamination and fumonisin production in corn grains. *Food Control*. 19, 36-43. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.01.006
15. J Jabran K., & Chauhan, B.S. (2015). Weed management in aerobic rice systems. *Crop Protection*. 78, 151-163. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.09.005
16. Kammann, C.I. (2015). Plant growth improvement mediated by nitrate capture in co-composted biochar, *Scientific Reports.* 5(1), 1-13. https://doi.org/10.1038/srep11080.
17. Kandil, A.A., Badawi, M.A., El-Moursy, S.A., & Abdou, U.M.A. (2004). Effect of planting dates, nitrogen levels and bio-fertilization treatments on 1: Growth attributes of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Scientific Journal of King Faisal University*. (*Basic and Applied Sciences*). 5(2), 227-237.
18. Kannaiyan, S., & Kumar. K. (2005). Azolla Biofertilizer for Sustainable Rice Production xvi. 81-7035-356-4. Daya Publishing House,
19. Khalvati, M.A., Mozafar, A., & Schmidhalter, U. (2005). Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology. Stuttgart*. 7, 706-712. https://doi.org/10.1055/s-2005-872893
20. Khosravi, Y., Destan, S., Mobasr, H. R., & Nasri. M. (2011). The effects of nitrogen stress and cycocel application on dormancy-related characteristics and grain yield of Tarem Dilmani rice. *Journal of Agricultural Research.* 3(4), 419-409. (In Persian with English abstract).
21. Lehmann, J. (2007). A handful of carbon. *Nature*. 447(7141), 143-144.
22. Lehman, J., & Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management: An introduction. In J. Lehmann & S. Joseph (Eds.), Biochar for Environmental Management: Science and technology. (pp.1-13).London; Sterling, VA: Earthscan. https://doi.org/10.4324/9780203762264
23. Ma, Z., Zhu, Z., Song, W., Luo, D., Cheng, H., Wang, X, & Lyu, W. (2024). Effects of Nitrogen Fertilizer on the Endosperm Composition and Eating Quality of Rice Varieties with Different Protein Components. *Agronomy*. 14(3), 469.
24. Mohammadi, M., Pirdashti, H., Aghajani Mazandarani, G., Mosavi Toghani, S.Y. (2013). Evaluation of duck efficiency as a biocontrol agent on weeds density and diversity in rice- duck farming (*Oryza sativa* L.). J*ournal of Agroecology*. 4(4), 335-346. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V4I4.17817
25. Niknejad, Y., Zamani, M.H., Falah, A., & Nasiri, M. (2016). Evaluation of nitrogen fertilizer rates and planting space on agronomic traits of 8615 rice line. Agronomy Journal 112, 1-8. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/AJ.2016.112582
26. Noor, H., Yan, Z., Sun, P., Ding, P., Li, L., Ren, A., Sun, M, Gao, Z. (2023). Effects of nitrogen on photosynthetic productivity and yield quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy*. 13(6), 1448. https://doi.org/10.3390/agronomy13061448
27. Pampolino, M.F., Manguiat, I.J., Ramanathan, S., Gines, H.C., Tan, H., Chi, P.S., Rajendran, T.T.N., & Buresh, R.J. (2007). Environmental impact and economic benefits of site specific nutrient management in irrigated rice systems. *Agricultural Systems.* 93,1-24. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2006.04.002
28. Payegozar, Y. (2008). Effect of foliar application of micro nutrient son quantitative and qualitative characteristics of pearl millet under drought stress. M.Sc. Thesis, Department of Agriculture, University of Zabol, Zabol. Iran.
29. R Raie, Y., Shareati, J., Wisany, W. (2015). Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different irrigation. J*ournal of Agriculture Science Sustainable Production*. 25(1), 65-84
30. Rajput, A., Singh Rajput, S., Jha, G., (2017). Physiological parameters leaf area index, crop growth rate, relative growth rate and net assimilation rate of different varieties of rice grown under different planting geometries and depths in SRI. *International Journal of Pure Applied Bioscience*. 5 (1), 362-367. https://doi.org/10.18782/2320-7051.247
31. Roger, P.A., & Ladha, K.J. (1990). Estimation of biological N_2 fixation and its contribution to nitrogen balance

in wetland fields.*14th International Congress Soil Science*. pp.2-10.

32. Saebmehr, H., Rafiee, F., Givianrad, M.H, & Mostafavi, G. (2024). Seasonal variation of agar and two plant hormones in Macroalgae Gracilaria corticata (Rhodophyta). *Journal of Fisheries.* 77(1), 53-68.
33. Salehifar, M., Afshar Mohammadian, M., Kavousi, M., Taddadi-Talab, K., & Shokri-Vahed, H. (2018). Evaluation of the comparisons of the effects of organic and mineral fertilizers on yield, yield components and growth indicators of rice. *Cereal Research*. 8(3), 305-291. https://doi.org/10.22124/C.2018.9724.1387
34. Schepers, J.S., Blackmer, T.M., Wilhelm, W.W., & Resende, M. (1996). Transmittance and reflectance measurments of corn leaves from plants with different nitrogen and water supply. *Journal of Plant Physiology*. 148, 523-529. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(96)80071-X
35. Schmidt, H.P. (2015). Fourfold increase in pumpkin yield in response to low-dosage root zone application of urine-enhanced biochar to a fertile tropical soil. *Agriculture*. 5(3), 723-741. https://doi.org/10.3390/agriculture5030723
36. Sobhani, S.M.A., Alavi Fazel, M., Ardakani, M.R., Madhaj, A., & Lak, S. (2021). Evaluation of yield changes and yield components of wheat in conditions of changes in the amount of biochar and mycorrhiza. P*lant Agronomic Sciences*. 11(1), 63-75. (In Persian with English abstract)
37. Soltani, S. M., & Karbalai Molki, M. T. (2022). The effect of zinc and phosphorus foliar application on morphological characters, grain yield and yield components, and grain quality of rice (Hashemi (local) and Guilaneh (improved) cultivar). *Journal of Plant Production Research. 29*(2), 35-57. https://doi.org/10.22069/JOPP.2022.18731.2765
38. Špulák, O., Martincova, J., Vitamavas, J, & Kunes, I. (2014). The effect of fertilization on chlorophyll activity, content of photosynthetically active pigments and nutrients in Carpathian birch leaves." *Austrian Journal of Forest Science.* 131(1), 23-44.
39. Yabar, S. Y. (2013). Effect of nitrogen and phosphorus fertilizer management on growth and yield of rice. International *Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 5(15), 1659-1662. (In Persian with English abstract)
40. Taghizadeh, M, Esfahani, M., & Madani, H. (2008). The effect of irrigation cycle and different amounts of nitrogen on yield and yield components of Tarem Hashemi rice in Rasht. *New Findings of Agriculture.* 2(4), 353: 364.
41. Tayefe, M., Gerayzade, A., Amiri, E. & Nasrollahzadeh, A. (2014). Effect of nitrogen on rice yield, yield components and quality parameters. *African Journal of Biotechnology*. 13(1), 91-105. https://doi.org/10.5897/AJB11.2298
42. Tejada, M., Gonzalez, J.L., Garcia-Martinez, A.M., & Parrado, J. (2008). Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. *Bioresource Technology*. 99, 1758-1767. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.03.052
43. Tilahum-Tadesse, F., Nigussie-Dechassa, R., Wondimu, B., & Setegn, G. (2013). Effect of farmyard manure and inorganic fertilizers on the growth, yield and moisture stress tolerance of rain-fed lowland rice. *American Journal of Research Communication*. 1(4), 275-301.
44. Vaccari, F., Baronti S., Lugato, E. Genesio, L. Castaldi, S. Fornasier, F. & Miglietta, F., (2011). Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. Europian. *Journal of Agronomy*. 34, 231-238. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.01.006.
45. Wang, J.P., Cao, C.G., Jin, H., & Liu, F.H. (2006). Effects of rice-duck farming on aquatic community in rice fields. *Journal of Scientia Agricultura Sinica*. 39(10), 2001-2008.
46. Yagi, R.., Ferreira, M. E., Cruz, M. C. P., & Barbosa, J. C., (2003). Organic matter fractions and soil fertility under the influence of liming, vermicompost and cattle manure. *Scientia Agricola*. 60, 549-557. https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000300021
47. Ye, J., Yu, Q.G., Yang, S.N., Jiang, L.N., Ma, J.W., Wang, Q., Wang, J.M., Sun, W.C., & Fu, J.R. (2011). Effect of combined application of organic manure and chemical fertilizer on N use efficiency in paddy fields and the environmental effects in hang jiahu area. *Journal of Soil and Water Conservation*. 25, 87-91. https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2217603
48. Zayed, B.A., Elkhoby, W.M., Salem, A.K., Ceesay, M., & Uphoff, N.T. (2013). Effect of integrated nitrogen fertilizer on rice productivity and soil fertility under saline soil conditions. *Journal of Plant Biology Research*. 2(1), 14-24.

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

Research Article
Vol. 16, No. 1, 2024, p. 129-146

Effect of Different Levels of Pelleted Poultry Manure and Chemical Fertilizer on Fodder Quality and Maize (*Zea mays* L.) Grain Yield

Sara Darabi[1], Gholamreza Heidari[2]*, Shiva Khalesro[3] and Hossein Jahani-Azizabadi[4]

1, 2 and 3- Former M.Sc. Student, Associate Professor, and Assistant Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, respectively.
4- Assistant Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
(*- Corresponding author's Email: g.heidari@uok.ac.ir)

Received: 21-08-2022
Revised: 03-04-2023
Accepted: 06-01-2023
Available Online: 06-01-2023

How to cite this article:
Darabi, S., Heidari, G., Khalesro, S., & Jahani-Azizabadi, H. (2024). Effect of different levels of pelleted poultry manure and chemical fertilizer on fodder quality and maize (*Zea mays* L.) grain yield. *Journal of Agroecology*, *16*(1), 129-146. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2023.78185.1122

Introduction

Maize (*Zea mays* L.) ranks first in terms of forage production among forage plants by producing about 490 million tons of fresh and silage forage in the world. Chemical fertilizers are used to increase crop yields and provide human food, but reduce soil organic matter content and, in the long run, pose a serious environmental risk, resulting in contamination of arable soils and surface and groundwater. Organic manures reduce the harmful effects of chemical fertilizers by producing humus and increasing the activity of the soil microbial community. Utilization of non-chemical resources such as farmyard manure in combination with chemical fertilizers can lead to soil fertility and increase yield and crop quality because combined fertilizer systems can provide most of the plant's nutritional needs by increasing the absorption efficiency of nutrients in crops. Considering the importance of organic manures and their combination with chemical fertilizers, this experiment was conducted in order to investigate the effects of different levels of poultry manure, chemical fertilizer, and their combination on yield, yield components, and maize forage quality.

Materials and Methods

The research was carried out in the research farm of Kurdistan University located in Dehgolan County, Kurdistan Province, Iran in the crop year 2017-2018. The experiment was performed in the form of randomized complete blocks with three replications. Experimental treatments included different levels of pelleted poultry manure in combination with chemical fertilizers: Figure 2. T_1: no fertilizer (control), T_2: 1250 kg of poultry manure + zero kg of recommended chemical fertilizer, T_3: 1250 kg of poultry manure + 25% of the recommended chemical fertilizer, T_4: 1250 kg of poultry manure + 50% recommended chemical fertilizer, T_5: 2500 kg of poultry manure + zero kg of recommended chemical fertilizer, T_6: 2500 kg of poultry manure + 25% of recommended chemical fertilizer, T_7: 2500 kg of poultry manure + 50% Recommended chemical fertilizer, T_8: 5000 kg of poultry manure + 0 kg of recommended chemical fertilizer, T_9: 5000 kg of poultry manure + 25% of recommended chemical fertilizer, T_{10}: 5000 kg of poultry manure + 50% of chemical fertilizer Recommended, T_{11}: 100% recommended chemical fertilizer. In this experiment, traits such as plant height, 1000-seed weight, biological and grain yield, seed nitrogen, starch, oil contents and forage quality were measured.

©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.2023.78185.1122

Results and Discussion

The results of the analysis of variance showed that the plant height, grain yield, biological yield, grain nitrogen, starch and oil contents, and oil yield were affected by fertilizer treatments at a probability level of 1%. The index harvest of maize was significant at the level of 5% probability. The number of plants per square meter and 1000-seed weight were not affected by fertilizer treatment. The highest plant height (241.2 cm), number of ears per plant (1.2 ears), 1000-seed weight (26.99 $g.m^{-2}$), seed yield (12.76 tons per hectare) and biological yield (26.42 tons per hectare) were observed in the treatment of 5000 kg of plated chicken manure + 50% of the recommended chemical fertilizer. The highest percentage of fodder silage protein (12.58%) and silage ash (10.32%) was observed in the treatment of 2500 kg of plated chicken manure + 50% of the recommended chemical fertilizer. The highest percentage of insoluble fibers in neutral detergent was observed in the T_6 and T_8 treatments, and the lowest percentage of insoluble fibers in neutral detergents was observed in the T10 treatment. The highest and lowest percentages of insoluble fibers in acidic detergent were in the T_2, T_4, and T_3 treatments, respectively. According to the results of the present experiment, the combination of chemical fertilizer with different amounts of chicken manure has reduced the consumption of chemical fertilizers, and in addition to saving on the consumption of fertilizer and the resulting costs, the harmful effects on the environment have also been reduced, and the condition of the soil in terms of fertility in the long term, the percentage of soil organic matter will improve.

Conclusion

The results of the experiment showed that combined fertilizer treatments were superior compared to pure chemical fertilizer and pure poultry manure treatments, improved the yield and yield components of maize and caused a reduction in chemical fertilizers consumption. Chemical fertilizer treatment provided acceptable yield only at high levels.

Keywords: Ash, Crude Protein, Forage maize, Harvest Index, Starch percentage

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص ۱۴۶-۱۲۹

اثر سطوح مختلف کود مرغی پلیت شده و کود شیمیایی بر عملکرد دانه و کیفیت علوفه ذرت (*Zea mays* L.)

سارا دارابی[۱]، غلامرضا حیدری[۲*]، شیوا خالص‌رو[۳] و حسین جهانی‌عزیزآبادی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۳۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۴

چکیده:

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف کود مرغی پلیت شده و کود شیمیایی بر کیفیت علوفه و عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.)، آزمایش حاضر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل شاهد (عدم مصرف کود)، ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده، ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی (کود اوره، کود سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم)، ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی، ۲۵۰۰کیلوگرم کود مرغی پلیت شده، ۲۵۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی، ۲۵۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی، ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده، ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی، ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی بود. نتایج نشان داد که تیمارهای تلفیقی موجب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد به‌ویژه ارتفاع بوته، وزن بلال، تعداد دانه در ردیف، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت شدند. بیشترین ارتفاع بوته (۲۴۱/۲ سانتی‌متر)، تعداد بلال در بوته (۲/۱ بلال)، وزن هزار دانه (۲۶/۹۹ گرم بر مترمربع)، عملکرد دانه (۱۲/۷۶ تن در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۲۶/۴۲ تن در هکتار) در تیمار ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده مشاهده گردید. بیشترین درصد پروتئین سیلاژ علوفه (۱۲/۵۸ درصد) و خاکستر سیلاژ (۱۰/۳۲ درصد) در تیمار ۲۵۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده مشاهده گردید. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها نشان داد که تیمارهای کود تلفیقی در مقایسه با تیمار کود شیمیایی خالص و کود مرغی خالص دارای برتری بودند و سبب بهبود عملکرد و کیفیت محصول ذرت گردید. باتوجه به نتایج حاصل از آزمایش حاضر ترکیب کود شیمیایی با مقادیر متفاوت کود مرغی، موجب کاهش مصرف کودهای شیمیایی و بهبود عملکرد و کیفیت ذرت شد. این امر می‌تواند علاوه‌بر صرفه‌جویی در مصرف کود و هزینه‌های ناشی از آن، کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی را نیز سبب شود و وضعیت خاک از لحاظ حاصلخیزی درازمدت و درصد ماده آلی خاک بهبود پیدا کند.

واژه‌های کلیدی: پروتئین خام، خاکستر، درصد نشاسته، ذرت علوفه‌ای، شاخص برداشت

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) با تولید حدود ۴۹۵ میلیون تن علوفه تازه و سیلویی در جهان مقام اول را از نظر تولید علوفه در بین گیاهان علوفه‌ای دارد (FAO, 2021). گیاه ذرت به‌دلیل بالا بودن درصد مواد قندی و نشاسته‌ای بالا و عملکرد بالا در واحد سطح از اهمیت بالایی برخوردار بوده و یکی از مهم‌ترین و بهترین گیاهان علوفه‌ای محسوب می‌شود. علاوه‌براین، ذرت از جمله گیاهان گروه C_4 است که جهت تولید علوفه مورد توجه می‌باشد و به‌دلیل امکان سیلو شدن آسان و ترکیب با مواد غذایی دیگر، از جمله علوفه‌های مهم در صنعت

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد، دانشیار و استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
۴- استادیار، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: g.heidari@uok.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2023.78185.1122

دامپروری به‌شمار می‌آید (Modirshanechi, 2015). در بیشتر خاک-های زراعی ایران به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک به‌دلیل پایین بودن مقدار مواد آلی خاک و کمبود نیتروژن، عملکرد و کیفیت محصولات علوفه‌ای به‌ویژه ذرت پایین است که از یک سو، موجب کمبود گوشت و فراورده‌های لبنی و پایین آمدن کیفیت آن‌ها و از سوی دیگر، موجب افزایش فشار دام بر مراتع و متعاقب آن نابودی بخش وسیعی از پوشش گیاهی موجود و افزایش فرسایش خاک شده است (Modirshanechi, 2015). یکی از روش‌های افزایش تولید علوفه، استفاده صحیح و مناسب از کودهای نیتروژنی است؛ امّا غالب این کودها به‌صورت علمی و مدیریت شده مصرف نمی‌شوند و کارایی مصرف آن‌ها پایین است (Jahanzad et al., 2015). یکی از راهبردهای مهم برای رسیدن به سطح مطلوب تولیدات دامی، تأمین نیاز غذایی دام به‌ویژه از نظر مواد معدنی ضروری است و این امر زمانی میسر است که کیفیت خوراک از نظر ترکیبات شیمیایی، مطالعه شده باشد (Rodney et al., 2011).

کودهای شیمیایی در راستای افزایش عملکرد گیاهان زراعی و تأمین غذای بشر مورد استفاده قرار می‌گیرند، امّا باعث کاهش محتوی ماده آلی خاک می‌شوند و در طولانی‌مدت مخاطرات جدی زیست‌محیطی را ایجاد می‌کنند، که نتیجه این مسئله، آلودگی خاک های زراعی و آب‌های سطحی و زیر زمینی خواهد بود (Bostick et al., 2017). در اثر کاربرد همزمان کودهای دامی و زیستی، شرایط مناسبی جهت رشد و نمو گیاهان مختلف فراهم می‌گردد. روش استفاده از انواع کودهای آلی مشکلی در رشد و نمو گیاه ایجاد نمی‌کند و می‌تواند نقش تکمیلی در رشد گیاه داشته باشد و به تولید محصول منجر شود. کودهای آلی از طریق تولید هوموس اثرات سوء کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهند وکودهای زیستی سبب افزایش فعالیت جامعه میکروبی خاک می‌شوند (Shata et al., 2007). علاوه‌براین، برای افزایش عناصر خاک از کاربرد همزمان کودهای معدنی و آلی استفاده می‌شود که امروزه به دلایلی همچون هزینه بالای کودهای غیرآلی و عدم توانایی آن‌ها در ایجاد شرایط مناسب برای خاک، بروز مشکلات زیست‌محیطی و افت کیفیت محصولات، استفاده از کودهای آلی بیشتر از قبل مورد توجه قرار گرفته است (Agyenim-Boateng et al., 2016). کودهای آلی می‌توانند سبب افزایش رشد و عملکرد ذرت شوند و جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم را افزایش دهند (Waniyo et al., 2014). کودهای دامی و مرغی از منابع کودهای آلی هستند که استفاده از آن‌ها در نظام‌های پایدار مدیریت خاک مرسوم می باشد. یکی از راهکارهای کشاورزی پایدار در تأمین نیازهای غذایی گیاهان، کاربرد کودهای آلی است به‌طوری‌که بخشی از نیاز گیاه به نیتروژن به‌جای کودهای شیمیایی از طریق کودهای آلی تأمین می‌شود. در آزمایش‌های بلندمدت مشخص شده است که استفاده از کودهای آلی می‌تواند یک نظام تولید متراکم را پایدار سازد. کودهای آلی با تولید هوموس، عوارض نامطلوب کودهای شیمیایی را کاهش داده و کارآیی مصرف کودهای شیمیایی را افزایش می‌دهند. افزایش فراهمی عناصر غذایی با مصرف کودهای آلی و جذب بیشتر آن‌ها توسط گیاه از عوامل تأثیرگذار بر افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در تیمارهای نظام مدیریت پایدار حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه می‌باشد (Shata et al., 2007). کودهای مرغی نقش مهمی در افزایش کارآیی نیتروژن داشته و باعث کاهش تلفات نیتروژن در خاک شده از ورود بی‌رویه نیتروژن به آب‌های جاری و زیر زمینی جلوگیری خواهند کرد (Farhad et al., 2009). کودهای دامی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین ماده آلی و جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی می‌باشند و تأثیر مثبتی در ارتقای وضعیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارند. مصرف این کودها سبب افزایش بازده خاک‌های فرسایش یافته و کم بازده می‌گردد. افزودن کودهای دامی علاوه‌بر ارتقای وضعیت شیمیایی و فیزیکی خاک به‌عنوان مهم‌ترین عامل افزاینده فعالیت جامعه میکروبی خاک عمل نموده و در زمان وجود این مواد در خاک، ریزجانداران بیش‌ترین میزان فعالیت را خواهند داشت (Shata et al., 2007).

با توجه به وجود نقاط ضعف در هر یک از کودهای آلی، کاربرد تلفیقی آن‌ها می‌تواند سبب افزایش کارآیی این نوع کودها شود (Suresh et al., 2022). بهره‌گیری از منابع غیر شیمیایی مانند کود دامی در تلفیق با کودهای شیمیایی می‌تواند به حاصلخیزی خاک و افزایش تولید و کیفیت محصول منجر شود، زیرا سیستم‌های تلفیقی کودی می‌تواند بیشتر نیازهای غذایی گیاه را تأمین نمایند و از طریق افزایش کارآیی جذب مواد غذایی، تولید محصول را افزایش دهند (Agyenim-Boateng et al., 2016). محققین همچنین اظهار کردند که تلفیق کودهای شیمیایی با کود مرغی می‌تواند یک استراتژی قوی مدیریتی در تولید علوفه با کیفیت باشد (Muhammet, 2019).

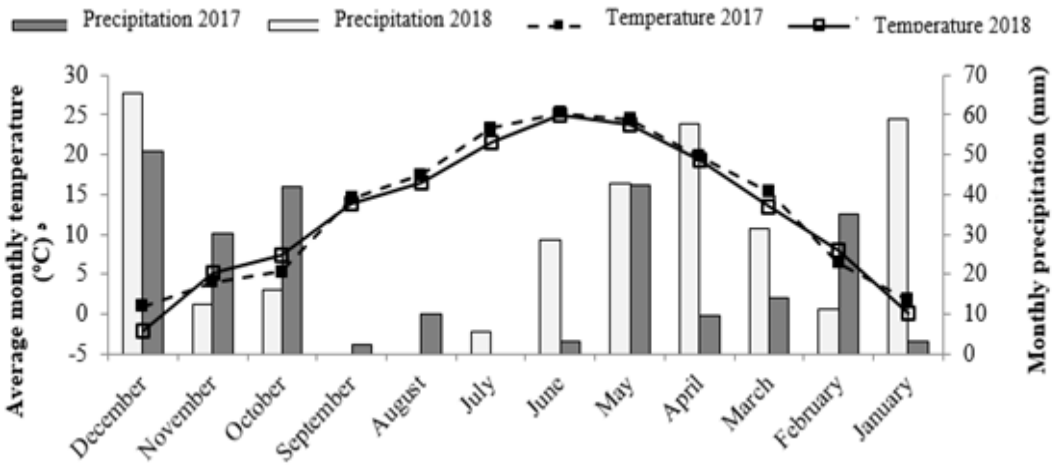
اهمیت تغذیه مناسب و کافی نشخوارکنندگان از نظر کمّی و

کیفی ایجاب می‌کند که کیفیت غذایی هریک از مواد خوراکی و اجزای تشکیل‌دهنده آن طبق روش‌های صحیح و استاندارد تعیین گردد. کمیت و کیفیت علوفه از جنبه‌های مهم تولید در گیاهان زراعی است و تحت تأثیر شرایط رشد و ویژگی‌های گیاه زراعی قرار می‌گیرد (Sharma et al., 2020). درصد پروتئین خام، ماده خشک قابل هضم و انرژی متابولیسمی مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت علوفه هستند که با اندازه‌گیری درصد نیتروژن و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی قابل اندازه‌گیری می‌باشند. برای تعیین ارزش غذایی گیاهان علوفه‌ای، ترکیبات شیمیایی و متغیرهای مختلفی شامل نیتروژن، پروتئین، چربی خام، خاکستر، مواد آلی، الیاف محلول در شوینده خنثی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، انرژی قابل هضم، انرژی متابولیسمی، هضم‌پذیری ماده خشک، هضم‌پذیری ماده آلی، کل مواد مغذی قابل هضم، عصاره عاری از نیتروژن، پتانسیل مصرف، ارزش غذایی نسبی و مواد معدنی در شرایط مختلف محیطی اندازه‌گیری می‌شود (Sharma et al., 2020). باتوجه به اهمیت کودهای آلی و تلفیق آن‌ها با کودهای شیمیایی، این آزمایش در راستای بررسی اثرات سطوح مختلف کود مرغی، کود شیمیایی و تلفیق آن‌ها بر عملکرد، اجزای عملکرد، کیفیت دانه و کیفیت علوفه ذرت انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان واقع در دهگلان در ۳۵ کیلومتری شرق شهرستان سنندج در ارتفاع ۱۸۶۶ متر از سطح دریا و مختصات جغرافیایی ۴۵/۳۷ درجه شرقی و ۳۵/۸ درجه شمالی انجام شد. میانگین درجه حرارت ماهیانه، رطوبت نسبی، و مجموع بارندگی ماهیانه در سال اجرای تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است.

این آزمایش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح مختلف کود مرغی پلیت شده در ترکیب با کودهای شیمیایی (کود اوره، کود سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم) بودند: T_1: عدم مصرف کود (شاهد)، T_2: ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی، T_3: ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_4: ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی، T_5: ۲۵۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی، T_6: ۲۵۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_7: ۲۵۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی، T_8: ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی، T_9: ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_{10}: ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_{11}: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده. قبل از کاشت و تهیه بستر از پنج نقطه محل آزمایش از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین گردید (جدول ۱).



شکل ۱- دما و بارش سالیانه در سال زراعی ۹۷-۹۶ در محل اجرای آزمایش

Fig. 1- Annual temperature and rainfall in the 2017- 2018 crop year at the test site

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش

Table 1- Results of soil decomposition of the test site

بافت (لومی رسی) Texture (clay loam)			ماده آلی Organic substance (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته Acidity (pH)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب Absorbable K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب Absorbable P ($mg.kg^{-1}$)
شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس clay (%)							
14.2	38.4	47.4	0.76	0.49	7.62	2.20	0.8	320	12.4

باتوجه به نتایج حاصل از آزمایش خاک مزرعه، بر اساس نوع طرح و توصیه‌های کودی آزمایشگاه خاکشناسی، میزان کود مورد نیاز هر کرت توزین گردید و پس از آماده کردن مقدمات کار، آماده‌سازی بستر کشت و پیاده نمودن نقشه طرح روی زمین مزرعه، تیمارهای کودی مورد نظر در یک نوبت و قبل از کاشت اعمال گردید (کود اوره، کود سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم، ۱۰۰ درصد کود شیمیایی معادل ۴۸۰ گرم اوره، ۸۴ گرم سولفات پتاسیم و ۲۵۸ گرم سوپر فسفات تریپل بود. ۵۰ درصد کود شیمیایی معادل ۲۴۰ گرم اوره، ۴۲ گرم سولفات پتاسیم و ۱۲۹ گرم سوپر فسفات تریپل در نظر گرفته شد. ۲۵ درصد کود شیمیایی معادل ۱۲۰ گرم کود اوره، ۲۱ گرم سولفات پتاسیم و ۶۵ گرم سوپرفسفات تریپل بود. مشخصات کود مرغی پلیت شده مورد استفاده در آزمایش: نیتروژن کل: ۲/۴ درصد، فسفر قابل استفاده: ۲/۳ درصد، پتاسیم محلول در آب: ۲ درصد، کربن آلی: ۱۵ درصد، ماده آلی: ۲۵ درصد، گوگرد عنصری: هشت درصد) و پس از آن، کشت به‌صورتی دستی انجام شد. ابعاد هر کرت شامل ۱۲ مترمربع (۳ × ۴) بود. در هر کرت آزمایش، چهار ردیف بذر با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر کشت گردید. کاشت گیاه در تاریخ ۱۴ خرداد سال ۱۳۹۷ و برداشت در ۱۵ مهر ماه سال ۱۳۹۷ انجام گردید. هیبرید ذرت مورد بررسی در آزمایش حاضر سینگل کراس ۲۶۰ با نام تجاری فجر بود که بذر گواهی شده هیبرید فوق از مؤسسه‌ی تحقیقات اصلاح و تهیه نهال بذر استان کردستان تهیه شده که با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، مانند کوتاهی فصل رشد و سرمای زودرس پاییزه، برای منطقه مورد مطالعه مناسب بود. نمونه‌برداری در دو مرحله متفاوت رشد با در نظر گرفتن اثر حاشیه در هر کرت آزمایشی و حذف آن صورت گرفت. برای تعیین تأثیر مصرف کودهای اعمال شده بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه و غلظت عناصر غذایی موجود در دانه، نمونه‌برداری در زمان رسیدگی از مساحتی معادل دو مترمربع انجام شد. برای تعیین تأثیر تیمارهای آزمایشی اعمال شده بر کیفیت علوفه ذرت، در مرحله شیری شدن نمونه‌برداری به‌مساحت یک مترمربع انجام شد.

پروتئین دانه ذرت به‌روش کجلدال اندازه‌گیری شد (Nelson & Sommers, 1973). برای این منظور، ۰/۵ گرم بذر آسیاب شده، ۱/۳ گرم کاتالیزور و ۱۲/۵ میلی لیتر اسید سولفوریک خالص داخل لوله های کجلدال ریخته شد، ابتدا در ۱۵۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت نیم ساعت و سپس در دمای ۳۰۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱/۵ ساعت هضم شد. در مرحله بعد نمونه‌ها به‌مدت هفت دقیقه در داخل کجلدال تقطیر شد و با اضافه کردن اسید هیدروکلریدریک ۰/۱ نرمال با استفاده از معادله ۱ درصد پروتئین قرائت گردید.

معادله (۱)

$$(\%P) = [0.14 \times V_{HCL} \times K] / W$$

که در آن، P%: درصد پروتئین، V_{HCL}: مقدار هیدروکلریدریک اسید، K: ضریب تبدیل نیتروژن به پروتئین (۶/۲۵)، W: مقدار نمونه (۰/۵ گرم). استخراج نشاسته با روش مک‌کریدی و همکاران (McCready et al., 1950) صورت گرفت. برای تعیین درصد روغن از روش استخراج پیوسته سوکسوله استفاده شد و مقدار آن از طریق معادله ۲ به‌دست آمد (AOAC, 2005).

معادله (۲)

عملکرد دانه × درصد روغن = عملکرد روغن (تن در هکتار)

به‌منظور بررسی ارزش غذایی ذرت علوفه‌ای، از هر کرت سه بوته کامل شامل شاخ و برگ و بلال در مرحله شیری شدن از محل طوقه در سطح خاک قطع گردید و پس از اینکه به قطعات کوچک خرد شد، در سیلوی آزمایشی سیلو گردید. بعد از سپری شدن ۴۵ روز از زمان ذخیره سازی، سیلوهای آزمایش باز شد و از سیلاژ (علوفه ترش شده) هر تیمار نمونه‌ای برای بررسی اثر تیمارهای آزمایشی برداشت گردید. در مرحله بعد، نمونه‌ها در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت

۴۸ ساعت قرار داده شد. بعد از خشک شدن نمونه‌ها به‌وسیله آسیاب دارای الک دو میلی‌متری الک گردید و صفات مربوط به کیفیت علوفه اندازه‌گیری شد. در این روش، ۱۰۰ گرم ماده سیلاژ ذرت تازه را داخل ظرف آلومینیومی ریخته رشد و بعد از توزین مجدد به‌مدت ۷۲ ساعت داخل آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. بعد از خارج کردن نمونه‌ها از آون با کم کردن وزن بوته‌ها از وزن اولیه آن‌ها، درصد ماده خشک سیلاژ محاسبه گردید. خاکستر سیلاژ با استفاده از روش وان و همکاران (Van et al., 1991) و درصد پروتئین خام علوفه از روش نلسون و سامرس (Nelson & Sommers, 1973) محاسبه گردید. برای تعیین الیاف نامحلول در شوینده خنثی، از روش وان و همکاران (Van et al., 1991) استفاده شد، به‌منظور اندازه‌گیری الیاف نامحلول در شوینده اسیدی از روش پیشنهادی AOAC استفاده شد و اندازه‌گیری خصوصیات هضم‌پذیری سیلاژ ذرت از روش تیلی و تری (Tilley & Terry, 1963) انجام شد.

معادله (۳)

$$\text{درصد نیتروژن} = \frac{\text{نرمالیته اسید} \times (\text{میزان اسید بلانک} - \text{میزان اسید نمونه}) \times 1.401}{\text{وزن نمونه گرم}}$$

معادله (۴)

$$\text{درصد پروتئین خام} = \text{درصد نیتروژن} \times ۶/۲۵$$

معادله (۵)

$$\%NDF = \frac{[(\text{وزن بوته} - \text{وزن بعد از کوره}) - (\text{وزن بوته خالی} - \text{بوته‌ها بعد از آون})]}{\text{وزن نمونه}} \times ۱۰۰$$

معادله (۶)

$$\%ADF = \frac{[(\text{وزن کروزه خالی} - \text{وزن بعد ازکوره}) - (\text{وزن خالی بوته} - \text{وزن بوته‌ها ازبعد آون})]}{\text{وزن نمونه}} \times ۱۰۰$$

تجزیه آماری بر اساس مدل آماری طرح‌های مورد استفاده و نرمال‌سازی داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد. برای مقایسه میانگین حداقل تفاوت معنی‌دار از آزمون LSD استفاده شد. نمودارها توسط نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش حاضر نشان داد که صفات ارتفاع بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، نیتروژن دانه، پروتئین دانه، نشاسته دانه، روغن دانه و عملکرد روغن تحت تأثیر تیمار کودی اعمال شده در سطح احتمال یک درصد و شاخص برداشت ذرت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید. صفات تعداد بوته در مترمربع و وزن هزار دانه تحت تأثیر تیمار کودی اعمال شده قرار نگرفتند و نتایج تجزیه واریانس آن‌ها غیر معنی‌دار بود (جدول ۲ و ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف کود مرغی پلیت شده و کود شیمیایی بر ارتفاع بوته و اجزای عملکرد ذرت

Table 2- Analysis of variance of the effect of different treatments of pelleted poultry manure and chemical fertilizer on plant height and yield components of corn

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد بلال در بوته Number of ear per plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	2	11.96 ns	0.05 ns	0.36 ns	0.08 ns	1.39ns	13.60 ns
تیمار Treatment	10	169.95 **	0.0241 ns	1.45 ns	7.27 *	14.17 **	69.13*
خطا Error	20	7.69	0.01	1.27	0.62	1.02	25.28
ضریب تغییرات CV (%)	-	5.21	11.12	4.45	7.07	4.42	10.45

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

ns: non-significant, *: significant at $p \leq 0.05$, **: significant at $p \leq 0.01$, respectively.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف کود مرغی پلیت شده و کود شیمیایی بر صفات کیفی دانه

Table 3- Analysis of variance of the effect of different treatments of pelleted poultry manure and chemical fertilizer on seed quality traits

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	نیتروژن دانه Seed N	نشاسته دانه Seed starch	روغن دانه Seed oil	عملکرد روغن دانه Seed oil yield
بلوک Block	2	0.05^{ns}	0.13 ^{ns}	0.11 ^{ns}	21.52^{ns}
تیمار Treatment	10	0.05 **	2.25**	2.07**	704.05**
خطا Error	20	0.011	0.04	0.31	54.25
ضریب تغییرات CV (%)	-	6.09	10.63	10.63	12.30

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

ns: non-significant, *: significant at $p\leq0.05$, **: significant at $p\leq0.01$, respectively.

ارتفاع بوته

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که افزایش سطوح کودی استفاده شده موجب افزایش ارتفاع بوته ذرت شد. افزایش ارتفاع بوته در تیمارهای کودی تلفیقی بیشتر بود، به این صورت که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده (۲۴۱/۲ سانتی متر) و کمترین ارتفاع بوته (۲۱۸/۸ سانتی متر) در تیمار عدم مصرف کود (شاهد) مشاهده گردید (جدول ۴). افزایش ارتفاع ذرت در تیمارهای کود تلفیقی می‌تواند به علت افزایش میزان نیتروژن در خاک و افزایش دسترسی گیاه به این عنصر، افزایش آماس سلولی گیاه باشد. علاوه‌براین، افزایش ارتفاع در تیمارهای تلفیقی کود مرغی پلیت شده و کود شیمیایی می‌تواند با بهبود وضعیت خاک از لحاظ مواد آلی، بهبود جمعیت میکروبی خاک و افزایش جذب مواد غذایی نیز در ارتباط باشد (Cheema et al., 2010). به نظر می‌رسد که افزودن همزمان کودهای شیمیایی و آلی علاوه‌بر تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه، موجب کاهش هدرروی نیتروژن از طریق آبشویی، متصاعد شدن و تثبیت نیتروژن می‌شود و از طریق فرآیند معدنی شدن، نیتروژن مجدداً به‌صورت قابل جذب گیاه در می‌آید که این امر افزایش رشد رویشی گیاه در طول دوره رشد را به‌همراه داشته است (Djilan et al., 2013). در تحقیقی که با هدف بررسی اثر سطوح مختلف کود دامی بر سطوح مختلف ذرت انجام شد، بیان کردند که ارتفاع ذرت در تیمار ۱۲ تن کود مرغی در هکتار بیشتر از سایر تیمارها بود (Farhad et al., 2009). در تحقیق دیگری با بررسی سطوح مختلف کود اوره و کود مرغی در سطوح صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار کود مرغی مشاهده شد که بیشترین ارتفاع بوته ذرت در تیمار تلفیقی ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره + ۵ تن کود مرغی در هکتار به‌دست آمد (Ayeni & Adetunji, 2010). کریمی‌نژاد و همکاران (Kariminejad et al., 2017) در آزمایشی که با هدف بررسی اثر مقدار کود بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت انجام دادند، گزارش کردند که افزایش کود به افزایش ارتفاع گیاه منجر گردیده است که دلیل این امر را افزایش عناصر غذایی در دسترس گیاه و افزایش تعداد گره در ساقه بیان کردند.

تعداد بلال در بوته

بر اساس مقایسه میانگین‌ها بیشترین تعداد بلال در بوته در تیمار ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده (۲/۱ بلال در بوته) و کمترین تعداد بلال در بوته (۱/۰۶ بلال در بوته) در شاهد (عدم مصرف کود) مشاهده شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین این صفت نشان داد که تعداد بلال در بوته با افزایش مقدار کود مصرفی در هکتار روند افزایشی داشت، به‌طوری که در تیمارهای ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده در بالاترین مقدار خود قرار داشت. به نظر می‌رسد که کاربرد توأم کودها نسبت به کاربرد جداگانه آن‌ها، نقاط ضعف موجود در هر یک از دو نوع کود اعم از کمبود مواد آلی، وجود محرک‌های رشد یا تفاوت در محتوی عناصر غذایی را جبران می‌نماید و با تأمین بهتر عناصر غذایی همراه با بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، شرایط را برای افزایش جذب عناصرغذایی، بهبود تولید و افزایش عرضه مواد

پرورده به بلال و در نهایت، افزایش تعداد بلال در بوته فراهم می‌آورد (Dilshad et al., 2010). در مطالعه‌ای، حبیبی و مجیدی (Habibi & Majidi, 2014) افزایش معنی‌دار تعداد بلال در بوته را در تیمارهای کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و کود آلی در مقایسه با شاهد گزارش کردند. کریمی‌نژاد و همکاران (Kariminejad et al., 2017) نیز با بررسی اثر مصرف کودهای آلی و معدنی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۷۰۴، گزارش کردند که اثر مصرف کودهای آلی بر تعداد بلال در بوته معنی‌دار بود و باعث افزایش مقدار این صفت در مقایسه با شاهد گردید.

جدول ٤- تأثیر سطوح مختلف کود مرغی و کود شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت

Table 4- Effect of different levels of poultry manure and chemical fertilizers on maize yield and yield components

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد بلال در بوته Number of ear per plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield ($t.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($t.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)
T_1	218.8	1.1	24	7.4	19.4	36.3
T_2	219.5	1.3	24.9	10	21.4	45.8
T_3	223.6	1.3	25.2	10.9	21.1	47
T_4	225	1.4	25.3	10.2	22.2	50.3
T_5	221.9	1.6	26.4	10.7	21.4	51.1
T_6	223.5	1.5	24.6	11.4	23.1	51.6
T_7	233.2	1.7	26.4	12.5	23.9	52.3
T_8	226.3	1.7	25.6	12.4	23.2	52.3
T_9	233.1	1.9	25.9	12.3	26.4	53.7
T_{10}	241.2	2.1	26.9	12.8	26	54
T_{11}	237.8	1.7	25.6	12	26.2	52.7
LSD 5%	5.5	0.4	2.6	1.5	2.2	1.5

T_1: عدم مصرف کود (شاهد)، T_2: ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی، T_3: ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_4: ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_5: ۲۵۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی، T_6: ۲۵۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_7: ۲۵۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_8: ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی، T_9: ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_{10}: ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_{11}: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده.

T_1: no fertilizer (control), T_2: 1250 kg of poultry manure + zero kg of chemical fertilizer, T_3: 1250 kg of poultry manure + 25% of the recommended chemical fertilizer, T_4: 1250 kg of poultry manure + 50% recommended chemical fertilizer, T_5: 2500 kg of poultry manure + zero kg chemical fertilizer, T_6: 2500 kg of poultry manure + 25% of recommended chemical fertilizer, T_7: 2500 kg of poultry manure + 50% Recommended chemical fertilizer, T_8: 5000 kg of poultry manure + zero kg chemical fertilizer, T_9: 5000 kg of poultry manure + 25% of recommended chemical fertilizer, T_{10}: 5000 kg of poultry manure + 50% of chemical fertilizer Recommended, T_{11}: 100% recommended chemical fertilizer.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که وزن هزار دانه تحت تأثیر تیمارهای کودی اعمال شده قرار نگرفت (جدول ۲). وزن هزار دانه از جمله صفاتی است که بیشتر تحت تأثیر کنترل ژنتیکی است و از توارث‌پذیری بالایی برخوردار است و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (Zeidan et al., 2016). نتایج متفاوتی در خصوص تغییرات وزن هزار دانه در ذرت تحت تیمارهای کودی متفاوت گزارش شده است. وزن هزار دانه در آزمایش دیگری تحت تأثیر تیمار کود دامی اعمال شده قرار نگرفت و اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد (Vajedi Roshan et al., 2015). در آزمایش کریمی‌نژاد و همکاران (Kariminejad et al., 2017) نیز وزن هزار دانه تحت تأثیر کود نیتروژن اعمال شده معنی‌دار نگردید. اختلاف مقادیر مختلف وزن هزار دانه در تیمارهای کود تلفیقی در مقایسه با شاهد در ذرت شیرین گزارش شده است (Mojab Ghasroddashti et al., 2017).

عملکرد دانه

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین (۱۲/۷۶ تن در هکتار) و کمترین (۷/۴۳ تن در هکتار) عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمار ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده و شاهد (عدم مصرف کود) به‌دست آمد (جدول ۴). تیمارهای ۲۵۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده، ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی، ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵

درصد کود شیمیایی توصیه شده از لحاظ آماری با تیمار برتر در یک سطح آماری قرار گرفتند و میزان عملکرد دانه در این تیمارها بیشتر از سایر تیمارها بود. ازجمله دلایل افزایش عملکرد دانه در تیمارهای تلفیقی کود شیمیایی و کود مرغی می‌توان به مطابقت بیشتر بین نیتروژن قابل دسترس خاک با نیازهای گیاه در سطوح تلفیقی اشاره کرد. به‌طوری‌که در اوایل رشد که نیاز غذایی کم است، میزان نیتروژن معدنی آن‌ها کمتر از کود شیمیایی است، ولی در مراحل رشد زایشی به‌علت تداوم فرآیند معدنی شدن، جذب تا مدت زمان طولانی تری ادامه پیدا می‌کند (Curran & Posch, 2010). کوران و پوش (Curran & Posch, 2010) نیز در پژوهشی گزارش کردند که عملکرد دانه ذرت در تیمار تلفیقی کود آلی و کود شیمیایی بالاتر از سایر تیمارهای آزمایش بود. نتایج مشابهی در خصوص افزایش عملکرد دانه در تیمارهای کودی تلفیقی توسط فرنانذز و همکاران (Fernandez et al., 2010) گزارش شده است. افزایش شاخص سطح برگ باعث افزایش طول دوره ماده‌سازی می‌شود و در نتیجه، طول دوره پر شدن دانه افزایش می‌یابد و مجموع، این عوامل موجب افزایش عملکرد دانه ذرت می‌گردد (Fernandez et al., 2010).

عملکرد بیولوژیک

بر اساس مقایسه میانگین تیمارها، بیشترین عملکرد بیولوژیک (۲۶/۴۲ تن در هکتار) در تیمار ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده و کمترین عملکرد بیولوژیک (۱۹/۴۵ تن در هکتار) در تیمار عدم مصرف کود به‌دست آمد. تیمارهای ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده از لحاظ آماری در سطوح مشابه قرار گرفتند و عملکرد بیولوژیک در این تیمارها بیشتر از سایر تیمارها بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد که در سطوح کودی تلفیقی، وجود نیتروژن در ابتدای مراحل رشد موجب افزایش رشد رویشی می‌شود. علاوه‌براین، آزادسازی نیتروژن و سایر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از کودهای آلی نیز موجب بهبود رشد زایشی گیاه و در نتیجه، افزایش عملکرد دانه می‌شود. در نتیجه، در تیماری که عناصر غذایی مورد نیاز در طی فصل رشد به‌صورت مطلوبی تأمین شده است، میزان عملکرد بیولوژیک آن نیز بالاتر بوده است. پژوهشگران دلیل افزایش عملکرد در روش‌های تغذیه تلفیقی را ناشی از مطابقت بیشتر بین نیتروژن قابل استفاده خاک با نیازهای گیاه می‌دانند. استفاده تلفیقی از کود دامی و کود شیمیایی در کنار بهبود خصوصیات فیزیکی خاک منجر به افزایش تولید از طریق استفاده مؤثر و کارآمد از آب و مواد غذایی می‌شود (Bhattacharyya et al., 2018). طی یک بررسی مشاهده شد که بیشترین عملکرد بیولوژیک ذرت در تیمار تلفیقی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص + ۴ تن کود مرغی در هکتار و کمترین عملکرد بیولوژیک در شاهد (بدون مصرف کود) به‌دست آمد که این امر، نتیجه تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به‌صورت مطلوب در تیمارهای کودی تلفیقی بود (Mojab Ghasroddashti et al., 2017). نتیجه مشابهی نیز در خصوص افزایش عملکرد بیولوژیک توسط چیما و همکاران (Cheema et al., 2010) گزارش شد.

شاخص برداشت

مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که بیشترین شاخص برداشت (۵۴/۰۳ درصد) در تیمار ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده به‌دست آمد که با درصد شاخص برداشت در تیمارهای ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده در یک سطح آماری قرار گرفت. کمترین شاخص برداشت (۳۶/۳۰ درصد) در شاهد (عدم مصرف کود) مشاهده شد. شاخص برداشت ذرت با افزایش کود مصرفی روند افزایشی داشت (جدول ۴). کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی، علاوه‌بر بهبود رشد اولیه گیاه، معدنی شدن کود آلی را نیز تسریع می‌کند. همچنین، کود آلی تا مراحل پایانی رشد عناصر غذایی را برای گیاه فراهم نموده و در نتیجه، عملکرد و شاخص برداشت را به یک سطح می‌رساند. در تحقیقی، اثرات مثبت کودهای دامی بر افزایش شاخص برداشت ذرت گزارش شده است (Vajedi Roshan et al., 2015). نتایج آزمایش انجام شده توسط کریمی‌نژاد و همکاران (Kariminejad et al., 2017) نشان داد که درصد شاخص برداشت ذرت در تیمارهای تلفیقی کود آلی و کود شیمیایی نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری داشت، امّا تیمارهای مستقل کود آلی نتواستند اختلاف معنی‌داری ایجاد کنند. در تحقیق دیگری، تأثیر سطوح مختلف کودی (آلی، شیمیایی و زیستی) بر صفات مورفولوژیک و عملکرد دانه ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ نشان داد که تفاوت معنی‌داری از لحاظ شاخص برداشت در بین

سطوح مختلف کودی وجود دارد و بیشترین مقدار شاخص برداشت به تیمار کودی تلفیقی تعلق داشت (Maghsudi et al., 2014). نتایج گزارش‌های ذکر شده در خصوص بهبود وضعیت درصد شاخص برداشت ذرت در استفاده از کودهای آلی، شیمیایی و تلفیق آن‌ها با نتایج حاصل از آزمایش حاضر همسو می‌باشد.

درصد نیتروژن دانه

بر اساس مقایسه میانگین انجام شده، بیشترین (۱/۷۳) و کمترین (۱/۲۳) درصد نیتروژن دانه ذرت به‌ترتیب از تیمارهای ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده و عدم مصرف کود (شاهد) به‌دست آمد. درصد نیتروژن دانه ذرت در آزمایش حاضر با افزایش سطوح کودی افزایش یافت. کمترین درصد نیتروژن بعد از شاهد، در تیمار ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی (۱/۴ درصد) و تیمار ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده (۱/۵ درصد) مشاهده شد. میزان نیتروژن دانه ذرت در تیمارهای ۱۲۵۰کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده (۱/۶ درصد)، ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + صفر کود شیمیایی توصیه شده (۱/۶۳ درصد)، ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده (۱/۶۳ درصد)، ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده (۱/۶ درصد)،۵۰۰۰کیلوگرم در هکتار کود مرغی + صفر کود شیمیایی (۱/۶۳درصد)،۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده (۱/۶ درصد) و صد در صد کود شیمیایی (۱/۶۶ درصد) نیز در یک سطح آماری قرار گرفتند (جدول ۵). مصرف کود آلی در تلفیق با کود شیمیایی باعث فراوانی عنصر نیتروژن شده و این امر افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه را به‌دنبال دارد که این امر، درصد نیتروژن ساقه و برگ را افزایش داده است. بیشترین مقدار نیتروژنی که توسط گیاه جذب می‌شود، در راستای تولید آنزیم‌ها (به ویژه آنزیم‌هایی که در فتوسنتز نقش دارند) و اسیدهای آمینه مصرف می‌گردد، و این آنزیم‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در فتوسنتز و به‌دنبال آن تولید گیاهی دارند. زمانی که نیتروژن قابل دسترس گیاه بیشتر از نیتروژن مورد نیاز برای رشد و تولید باشد، درصد پروتئین اندام‌های گیاهی و دانه افزایش پیدا می‌کند (Thind et al., 2018). در مطالعه ای بیان شد که میزان جذب نیتروژن گیاه ذرت در تیمار کود مرغی و اوره از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با شاهد داشتند.

جدول ۵- تأثیر سطوح مختلف کود مرغی و کود شیمیایی بر صفات کیفی دانه

Table 5- Effect of different levels of poultry manure and chemical fertilizers on seed quality traits

تیمار Treatment	درصد نیتروژن دانه Seed N content (%)	درصد نشاسته دانه Seed starch content (%)	درصد روغن دانه Seed oil content (%)	عملکرد روغن دانه Seed oil yield ($t.ha^{-1}$)
T_1	1.23	70.4	4.4	0.33
T_2	1.4	71.2	5	0.5
T_3	1.5	71.1	5.3	0.59
T_4	1.6	71.3	5.2	0.6
T_5	1.63	71.4	5.6	0.61
T_6	1.6	72	5.6	0.64
T_7	1.63	72.4	5.7	0.71
T_8	1.63	72.7	6	0.75
T_9	1.6	73	5.8	0.71
T_{10}	1.73	73	5.7	0.73
T_{11}	1.66	71.7	5.9	0.7
LSD 5%	0.19	0.5	0.8	0.12

T_1: عدم مصرف کود (شاهد)، T_2: ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی، T_3: ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_4: ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_5: ۲۵۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی، T_6: ۲۵۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_7: ۲۵۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_8: ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی، T_9: ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_{10}: ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_{11}: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده.

T_1: no fertilizer (control), T_2: 1250 kg of poultry manure + zero kg of chemical fertilizer, T_3: 1250 kg of poultry manure + 25% of the recommended chemical fertilizer, T_4: 1250 kg of poultry manure + 50% recommended chemical fertilizer, T_5: 2500 kg of poultry manure + zero kg chemical fertilizer, T_6: 2500 kg of poultry manure + 25% of recommended chemical fertilizer, T_7: 2500 kg of poultry manure + 50% Recommended chemical fertilizer, T_8: 5000 kg of poultry manure + zero kg chemical fertilizer, T_9: 5000 kg of poultry manure + 25% of recommended chemical fertilizer, T_{10}: 5000 kg of poultry manure + 50% of chemical fertilizer Recommended, T_{11}: 100% recommended chemical fertilizer.

امّا غلظت نیتروژن و جذب آن در تیمار کاربرد کود مرغی بیشتر از کود اوره بود که دلیل آن را سرعت آهسته تجمع نیتروژن آلی و آبشویی پایین گزارش کردند (Hirzel et al., 2007). نتایج به‌دست آمده از تحقیق جودیت و همکاران (Judith et al., 2009) نشان داد که جذب نیتروژن توسط گیاه ذرت در صورت استفاده از کود اوره ۹۷/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت و کاربرد همزمان کود دامی +کود اوره منجر به افزایش ۱۱۰ درصدی جذب نیتروژن نسبت به شاهد شد.

درصد نشاسته دانه

مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف کودی بر درصد نشاسته دانه نشان داد که بیشترین (۷۳/۰۵ درصد) و کمترین (۷۰/۴۴ درصد) درصد نشاسته به‌ترتیب در تیمارهای ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده و تیمار عدم مصرف کود (شاهد) مشاهده شد. با افزایش سطوح کودی در تیمارهای مورد آزمایش، درصد نشاسته دانه ذرت روند افزایشی نشان داد و در سطوح بالای کودی به بیشترین مقدار خود رسید. کمترین درصد نشاسته دانه ذرت بعد از شاهد در تیمارهای ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی (۷۱/۱۳ درصد) و ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده (۷۱/۱۵ درصد) به‌دست آمد (جدول ۵). در مرحله پر شدن دانه، اولین ترکیب ذخیره شده در دانه‌ها ترکیبات پروتئینی هستند و در مرحله بعد ترکیبات کربوهیدراتی در دانه‌ها ذخیره می‌شوند. بنابراین، باتوجه به اینکه تیمار کود تلفیقی از هر دو منبع شیمیایی و آلی عناصر غذایی کافی به‌خصوص نیتروژن را در اختیار گیاه قرار می‌دهد و می‌تواند به افزایش طول دوره رشد منجر شود، لذا گیاه مدت زمان بیشتری برای ذخیره کربوهیدرات در اختیار دارد (Hirzel et al., 2007). در تحقیقی، اثر کود تلفیقی بر کیفیت دانه ذرت بررسی شد که نتایج نشان داد که درصد نشاسته در تیمارهای کودی، بالاتر از شاهد قرار گرفت و بیشترین درصد نشاسته به تیمار کود تلفیقی مربوط بود (Hirzel et al., 2007). در آزمایش دیگری که توسط جودیت و همکاران (Judith et al., 2009) انجام شد، درصد نشاسته ذرت با کاربرد کود تلفیقی افزایش یافت. همچنین در مطالعه دیگری نیز نتایج مشابهی در خصوص افزایش درصد نشاسته در تیمار کود تلفیقی در مقایسه با شاهد به‌دست آمد (Hirzel et al., 2018).

درصد روغن دانه

بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین درصد روغن (شش درصد) دانه به تیمار ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی و کمترین درصد روغن (۴/۴ درصد) دانه به شاهد مربوط بود (جدول ۵). باتوجه به اینکه افزایش درصد پروتئین دانه باعث کاهش درصد روغن می‌شود که دلیل این امر، رقابت برای کربن در طی متابولیسم کربوهیدرات‌ها می‌باشد و میزان کربوهیدرات لازم جهت سنتز پروتئین‌ها، بیشتر از میزان کربن لازم جهت سنتز چربی‌ها است، بنابراین در تیمارهایی که سطوح نیتروژن بسیار بالا است، سنتز روغن کاهش یافته و سنتز پروتئین افزایش می‌یابد (Javanmard & Shekari, 2016). بنابراین، کاهش درصد روغن در تیمارهای T_9، T_{10} و T_{11} که درصد پروتئین دانه بالاتری داشتند، منطقی به نظر می‌رسد. درصد چربی ازجمله ویژگی‌های ژنتیکی رقم است، امّا با توجه به اینکه منشأ تولید چربی ترکیباتی است که در فرآیند فتوسنتز تولید می‌شود، بهبود شرایط رشد گیاه می‌تواند باعث افزایش درصد چربی شود (Cheema et al., 2010). به نظر می‌رسد که در صورت استفاده از کودهای آلی شرایط مناسب‌تری برای رشد و توسعه ریشه و اندام‌های گیاهی فراهم می‌شود که نتیجه آن بهبود وضعیت جذب آب و عناصر غذایی و نهایتاً افزایش درصد روغن در ذرت می‌باشد (Cheema et al., 2010). در مطالعه‌ی انجام شده توسط مقصودی و همکاران (Maghsudi et al., 2014) افزایش درصد چربی در تیمار کود تلفیقی در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده شد. در آزمایش چیما و همکاران (Cheema et al., 2010) نیز درصد روغن در تیمارهای کود تلفیقی دارای اختلاف معنی‌داری با شاهد (عدم مصرف کود) بود. جوانمرد و شکاری (Javanmard & Shekari, 2016) در پژوهشی که با هدف بررسی بهبود عملکرد و روغن دانه آفتابگردان با کاربرد کودهای آلی و شیمیایی انجام گرفت، گزارش کردند که درصد روغن دانه تحت تأثیر معنی‌دار کاربرد کود شیمیایی، کود آلی و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت و بیشترین درصد روغن در تیمار ۵۰ درصد کود تلفیقی مشاهده شد.

مطابقت دارد.

عملکرد روغن دانه

بیشترین عملکرد روغن (۰/۷۴۶۲ تن در هکتار) در تیمار ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی و کمترین عملکرد روغن (۰/۳۲۷۱ تن در هکتار) در شاهد مشاهده شد (جدول ۵). در آزمایش جوانمرد و شکاری (Javanmard & Shekari, 2016) عملکرد روغن در تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود مرغی + ۵۰ درصد کود دامی بالاتر از سایر تیمارها بود. آنان عملکرد بالای روغن در این تیمار را به درصد بالای روغن دانه و عملکرد دانه بالا نسبت به سایر تیمارها نسبت دادند. نتایج تحقیق حاضر با نتیجه آزمایش جوانمرد و شکاری (Javanmard & Shekari, 2016) مطابقت دارد.

اثر سطوح مختلف کود مرغی پلیت شده و کود شیمیایی بر کیفیت سیلاژ ذرت علوفه‌ای

خاکستر علوفه سیلویی (ASH)

بر اساس جدول مقایسه میانگین‌ها، بیشترین درصد خاکستر به تیمار ۱۲۵۰کیلوگرم در هکتار کود مرغی + صفر کود شیمیایی (۹/۲۵ درصد) و تیمار ۱۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده (۱۰/۳۲ درصد) مربوط بود و کمترین درصد خاکستر در تیمار ۵۰۰۰کیلوگرم در هکتار کود مرغی + صفر کیلوگرم کود شیمیایی (۷/۳۳ درصد) مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ٦- اثر سطوح کود شیمیایی و کود مرغی پلیت شده بر ترکیب شیمیایی علوفه ذرت (درصد ماده خشک)

Table 6- The effect of chemical fertilizer and pelleted poultry manure levels on the chemical composition of maize fodder (percentage of dry matter)

تیمارها Treatments	خاکستر Ash (%)	پروتئین Protein (%)	ماده خشک Dry matter (%)	الیاف نامحلول در شوینده خنثی Insoluble fibers in neutral detergent (%)	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Insoluble fibers in acidic detergents (%)
T_1	8.69	10.85	24.36	60.61	24.93
T_2	9.25	11.28	25.72	63.11	31.70
T_3	10.32	11.17	23.71	63.31	29.15
T_4	7.63	10.63	25.01	64.76	21.73
T_5	9.43	10.21	26.41	60.61	25.36
T_6	9.43	11.65	26.96	65.51	21.40
T_7	9.09	12.58	27.51	61.71	25.30
T_8	7.33	12.21	26.77	72.26	22.60
T_9	8.93	12.06	27.05	62.76	23.20
T_{10}	7.71	11.83	24.74	54.33	24.30
T_{11}	8.64	10.47	26.42	65.51	27.66
LSD 5%	0.9	0.5	1.9	8.5	6.2

T_1: عدم مصرف کود (شاهد)، T_2: ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی، T_3: ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_4: ۱۲۵۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_5: ۲۵۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی، T_6: ۲۵۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_7: ۲۵۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_8: ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + صفر کیلوگرم کود شیمیایی، T_9: ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_{10}: ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده، T_{11}: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده.

T_1: no fertilizer (control), T_2: 1250 kg of poultry manure + zero kg of chemical fertilizer, T_3: 1250 kg of poultry manure + 25% of the recommended chemical fertilizer, T_4: 1250 kg of poultry manure + 50% recommended chemical fertilizer, T_5: 2500 kg of poultry manure + zero kg chemical fertilizer, T_6: 2500 kg of poultry manure + 25% of recommended chemical fertilizer, T_7: 2500 kg of poultry manure + 50% Recommended chemical fertilizer, T_8: 5000 kg of poultry manure + zero kg chemical fertilizer, T_9: 5000 kg of poultry manure + 25% of recommended chemical fertilizer, T_{10}: 5000 kg of poultry manure + 50% of chemical fertilizer Recommended, T_{11}: 100% recommended chemical fertilizer.

نتایج تحقیقات نشان داده است که با افزایش استفاده از کودهای شیمیایی به‌خصوص کودهای نیتروژنه محتوی خاکستر علوفه افزایش یافت. دلیل افزایش درصد خاکستر در نتیجه تأمین نیتروژن، بهبود رشد قسمت‌های رویشی و ریشه‌های گیاه عنوان شده است. از این رو، هرچه ریشه‌های گیاه گسترش بیشتری داشته باشد، جذب مواد معدنی مورد نیاز گیاه نیز افزایش خواهد یافت (Ayub et al., 2017). در پژوهش دیگری که اثر کودهای آلی بر درصد ویژگی‌های کمی و کیفی سورگوم علوفه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت، گزارش شد که این کود اثر معنی‌داری بر درصد خاکستر علوفه نداشت و کمترین درصد خاکستر در تیمار کود شیمیایی مشاهده گردید. در توجیه این

مسئله چنین بیان شد که درصد خاکستر سورگوم تحت تأثیر فراهمی عناصر غذایی قرار نمی‌گیرد و احتمال دارد که بیشتر تحت تأثیر عواملی مانند زمان برداشت، مرحله بلوغ و ویژگی‌های ذاتی گیاه بوده باشد. علاوه‌براین، علت افزایش درصد خاکستر، همراه با افزایش کاربرد کودهای آلی و شیمیایی این است که نیتروژن باعث بهبود رشد قسمت‌های رویشی و ریشه شده و هر چه ریشه گیاه، گسترش بیشتری داشته باشد، جذب مواد معدنی نیز بیشتر خواهد شد و گیاه علاوه‌بر تولید مواد آلی مقدار بیشتری نیز مواد معدنی را در خود نگه می‌دارد (Saeednejad et al., 2012).

درصد پروتئین سیلویی (CP)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های علوفه ذرت تحت تیمار سطوح مختلف کود مرغی پلیت شده و کود شیمیایی نشان داد که تیمار ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده (۱۲/۵۸ درصد) بیشترین درصد پروتئین و تیمار ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + صفر کیلوگرم کود شیمیایی (۱۰/۲۱ درصد) کمترین درصد نیتروژن را داشتند (جدول ۶). اگر چه کاربرد کودهای شیمیایی و کودهای حاوی مقادیر بالای نیتروژن مانند کودهای مرغی اغلب سبب افزایش درصد پروتئین می‌شود، ولی این موضوع در همه موارد ثابت نشده است. نتایج تحقیقات نشان داده است در اثر تأمین نیتروژن درصد پروتئین زمانی افزایش پیدا می‌کند که نیتروژن بیشتر از نیاز گیاه برای تولید باشد. زمانی که مقدار نیتروژن قابل دسترس گیاه کم باشد، تغییر محسوسی در میزان پروتئین به‌وجود نمی‌آید (Sharma et al., 2020). در آزمایشی، افزایش درصد پروتئین علوفه ذرت در اثر کاربرد تیمارهای کودی در مقایسه با تیمار شاهد گزارش شد که با نتیجه آزمایش حاضر مطابقت نداشت (Saeednejad et al., 2012). در مطالعه‌ای که با هدف بررسی ارزش تغذیه‌ای و تجزیه‌پذیری سیلاژ سورگوم از علوفه چین اول و دوم انجام شد، گزارش گردید که پروتئین علوفه سیلاژی در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Eyni & Bashtani, 2016). در آزمایش دیگری که با هدف مقایسه درصد پروتئین علوفه سیلاژی ذرت و سورگوم با علوفه تازه انجام گردید، گزارش شد که درصد پروتئین علوفه سیلاژی، کمتر از علوفه تازه بود که این امر یک مزیت برای استفاده از علوفه سیلاژی در مقایسه با علوفه تازه می‌باشد (Sharma et al., 2020).

درصد ماده خشک علوفه سیلویی

بر اساس مقایسه میانگین صفات مرتبط با کیفیت علوفه ذرت متأثر از تیمارهای کود مرغی پلیت شده و کود شیمیایی، بیشترین (۲۷/۵۱ درصد) درصد ماده خشک سیلاژ ذرت علوفه‌ای در تیمار ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده حاصل گردید و کمترین (۲۳/۷۱ درصد) مقدار آن در تیمار ۱۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده مشاهده شد که با شاهد (بدون کاربرد کود) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۶). به نظر می‌رسد که استفاده تلفیقی از کودهای دامی و کود شیمیایی از طریق استفاده مؤثر و کارآمد از آب و مواد غذایی و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک منجر به افزایش درصد ماده خشک می‌شود (Bhattacharyya et al., 2018). ماده خشک یکی از عوامل تأثیرگذار بر خصوصیات سیلاژ ذرت علوفه‌ای می‌باشد، افزایش درصد ماده خشک در ذرت علوفه‌ای باعث کاهش افت محصول سیلاژ ذرت علوفه‌ای تولید شده و تضمین افزایش کیفیت محصول تولیدی خواهد شد. در صورتی که ماده خشک علوفه کاهش یابد، علاوه‌بر افزایش افت محصول نهایی و میزان پساب خارج شده از سیلو، سبب کاهش کیفیت محصول به‌دلیل افزایش غلظت اسید بوتریک آن می‌شود (Saeednejad et al., 2012).

الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF)

مقایسه میانگین اثرات کود مرغی پلیت شده و کود شیمیایی بر درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی نشان داد که بیشترین درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی در تیمار ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۲۵درصد کود شیمیایی (۶۵/۵۱ درصد) و تیمار ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + صفر کیلوگرم کود شیمیایی (۷۲/۲۶ درصد) و کمترین درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی در تیمار ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (۵۴/۳۳ درصد) مشاهده شد (جدول ۶). نتایج تحقیقات در خصوص تأثیر تیمارهای کودی بر درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی نشان داد که کاربرد این کودها باعث فعال شدن بیشتر رشد رویشی، افزایش تقسیم سلولی و نازک شدن دیواره سلولی شده که این امر باعث کاهش درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی در مقایسه با

شاهد شده است (Sharma et al., 2020). در آزمایش قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2018) منابع مختلف کود اثر معنی‌داری بر درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه ذرت داشتند. این پژوهشگران گزارش کردند که در تیمارهای کودی تلفیقی کود شیمیایی + کود دامی درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی در بهترین وضعیت در مقایسه با شاهد بوده (کمترین درصد NDF در تیمار تلفیقی مشاهده شد) و استفاده از کودهای تلفیقی باعث بهبود کیفیت علوفه ذرت شده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که هرچند تیمار شماره ۸ سبب افزایش میزان NDF سیلاژ ذرت نسبت به سایر تیمارهای آزمایش شد، امّا باتوجه به اینکه درصد ADF در این تیمار نیز پایین‌تر از سایر تیمارهای آزمایش بود (به غیر از تیمارهای T_6 و T_4)، این تیمار آزمایش سبب افزایش درصد همی سلولز (تقریباً ۴۹/۶۶ ماده خشک) نسبت به سایر تیمارهای آزمایش شد. قابلیت هضم سلولز و لیگنین در NDF کمتر از همی سلولز است.

الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش حاضر نشان داد که بیشترین و کمترین درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی به ترتیب در تیمارهای ۱۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + صفر کیلوگرم کود شیمیایی (۳۱/۷۰ درصد)، ۱۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده (۲۱/۷۳ درصد) و ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی + ۲۵درصد کود شیمیایی توصیه شده (۲۱/۴۰ درصد) بود (جدول ۴). محتوای نیتروژن بالا در گیاه باعث شادابی شاخ و برگ و کاهش میزان خشبی شدن آن می‌شود. در مقابل، نیتروژن کمتر باعث افزایش محتویات دیواره سلولی از جمله سلولز و لیگنین می‌شود. برخی از محققان گزارش کردند که رابطه‌ای منفی بین میزان نیتروژن و درصد الیاف ADF وجود دارد و ویژگی های نامطلوب در کیفیت علوفه با افزایش غلظت نیتروژن کاهش می یابد، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی قابلیت هضم علوفه را نشان می‌دهد (Ghasemi et al., 2018). نتایج حاصل از تحقیق آرمسترانگ و همکاران (Armstrong et al., 2018) نشان داد که درصد فیبرهای غیر محلول در شوینده اسیدی، بهترین شاخص برای بیان ارزش غذایی نسبت به فیبر خام و سلولز می‌باشد و افزایش میزان مصرف نیتروژن باعث کاهش درصد فیبرهای غیر محلول در شوینده اسیدی می‌شود. علاوه‌براین، کونترارس-گوآ (Contreras-Govea et al., 2009) نیز در تحقیق خود بیان کردند با افزایش کود نیتروژن درصد فیبر قابل حل افزایش یافت که این امر باعث افزایش هضم و خوش‌خوراکی علوفه گردید. در آزمایش دیگری که با هدف بررسی تأثیر تیمارهای پیش کاشت و میزان نیتروژن بر خصوصیات کیفی و کمّی ذرت سیلویی هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ انجام شد، گزارش شد که درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در تیمار کود دامی کمتر از سایر تیمارهای اعمال شده در آزمایش بود (Saeednejad et al., 2012). در تحقیق دیگری، نتایج نشان داد که در تیمار تلفیقی، مقدار ADFکاهش یافت که به‌دلیل اثر افزایشی نیتروژن بر رشد رویشی و انبساط سلولی بوده است (Habibi & Majidian, 2014).

نتیجه‌گیری

در آزمایش حاضر، بیشترین ارتفاع بوته، تعداد بلال در بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و نیتروژن دانه در تیمار تلفیقی T_{10} (۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده) مشاهده شد. هر چند کاربرد ۵۰۰۰ کیلوگرم کود مرغی پلیت شده به‌تنهایی (T_8)، از لحاظ عملکرد دانه و روغن در سطح برابری با تیمار برتر آزمایش (تیمار ترکیبی T_{10}) قرار گرفت، ولی کیفیت علوفه در تیمارهای کود تلفیقی (شیمیایی و مرغی) بهتر از کاربرد کودهای شیمیایی و مرغی به‌تنهایی بود. به نظر می‌رسد که کاربرد ترکیبی این کودها باعث فعال شدن بیشتر رشد رویشی، افزایش تقسیم سلولی و نازک شدن دیواره سلولی شده که این امر باعث کاهش درصد الیاف نامحلول می‌گردد. در آزمایش حاضر، سعی گردید که علاوه‌بر کاربرد ترکیبی کود شیمیایی با مقادیر متفاوت کود مرغی، مصرف کودهای شیمیایی کاهش داده شود تا علاوه‌بر صرفه جویی در مصرف کود و هزینه‌های ناشی از آن اثرات مخرب زیست محیطی نیز کاهش یابد و وضعیت خاک از لحاظ حاصلخیزی درازمدت و درصد ماده آلی خاک بهبود پیدا کند.

References

1. Agyenim-Boateng, S., Zickermann, J., & Kornahrens, M. (2016). Poultry manure effect on growth and yield of

maize. *West African Journal of Applied Ecology*, *9*(1), 1-11. https://doi.org/10.4314/wajae.v9i1.45682
2. AOAC. (1999). In: Cunnif, P. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, 16th Ed. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
3. Armstrong, K.L., Albrecht, K.L., Lauer, J.G., & Riday, H. (2018). Intercropping corn with lablab bean, velvet bean, and scarlet runner bean for forage. *Crop Science*, *48*, 371-379. https://doi.org/10.2135/cropsci2007.04.0244
4. Ayeni, L.S., & Adetunji, M.T. (2010). Integrated application of poultry manure and mineral fertilizer on soil chemical properties, nutrient uptake, yield and growth components of maize. *Nature and Science*, *8*(1), 60-67.
5. Ayub, M., Nadeem, M.A., Sharar, M.S., & Mahmood, N. (2017). Response of maize (*Zea mays* L.) fodder to different levels of nitrogen and phosphorus. *Asian Journal of Plant Sciences*, *1*(4), 352-354. https://doi.org/10.3923/ajps.2002.352.354
6. Bhattacharyya, R., Kundu, S., Prakash, V., & Gupta, H.S. (2018). Sustainability under combined application of mineral and organic fertilizers in a rain fed soybean-wheat system of the Indian Himalayas. *European Journal of Agronomy 28*, 33-46. https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.04.006
7. Bostick, W.M.N., Bado, V.B., Bationo, A., Solar, C.T., Hoogenboom, G., & Jones, J.W. (2007). Soil carbon dynamics and crop residue yields of cropping systems in the Northern Guinea Savanna of Burkina Faso. *Soil and Tillage Research*, *93*(7), 138-151. https://doi.org/10.1016/j.still.2006.03.020
8. Cheema, M.A., W. Farhad, M.F., Saleem, H.Z., Khan, M.A., Vahid, F., Rasul., & Hammad. H.M. (2010). Nitrogen management strategies for sustainable maize production. *Crop and Environment*, *1*(1), 49-52.
9. Contreras-Govea, F.E., Muck, R.E., Armstrong, K.L., & Albrecht, K.A. (2009). Nutritive value of corn silage in mixture with climbing beans. *Animal Feed Science and Technology*, *150*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.07.001
10. Curran, B., & Posch, J. (2010). Agronomic management of silage for yield and quality: Silage cutting height. *Crop Insights 10* (2): 145-155.
11. Dilshad, M.D., Lone, M.I., Jilani, G., Azim-Malik, M., Yousaf, M., Khalid, R. & Shamin, F. (2010). Integrated nutrient management (IPNM) on maize under rainfed condition. *Pakistan Journal of Nutrition*, *9*, 896-901. https://doi.org/10.3923/pjn.2010.896.901
12. Djilan, G., & Mourad, S. (2013). Influence of organic manure on the vegetative growth and tuber production of potato (*Solanum tuberosum* L.) in a Sahara Desert region. *International Journal of Agricultural and Crop Research*, *5* (22), 2724-2731.
13. Eyni, B., & Bashtani, B. (2016). Survey of nutritive value and degradability of sorghum silage from first and second cutting of forage. *Research on Animal Production 7*(16), 142-136. (In Persian with English abstract). https://www.doi.org/10.29252/rap.7.14.142
14. FAO. (2021). FAOSTAT. Statistical of crop production. Avilable at: http://www.fao.org/faostat/en/#data.
15. Farhad, W., Saleem, M. f., Cheema, M.A., & Hammad, H.M. (2009). Effect of poultry manure levels the productivity of spring maize (*Zea mays* L.). *Journal of Animal and Plant Sciences*, *19*(3), 122-125.
16. Fernandez-Luqueno, F., Reyes-Varela, V., Martinez-Suarez, C., Salomon-Hernandez, G., Yanez-Meneses, J., Ceballos-Ramirez, M., & Dendooven, L. (2010). Effect of different nitrogen sources on plant characteristics and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bioresource Technology*, *101*, 396-403. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.058
17. Ghasemi, A., Ghanbari, A., Fakheri, B.A., & Fanaie, H.R. (2018). Effect of different tillage management on maize forage and grain quality and quantity under the influence of different sources of organic and chemical fertilizers. *Journal of Agroecology 10*(2), 490-503. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v10i2.59988
18. Habibi, S., & Majidian, M. (2014). Effect of different levels of nitrogen fertilizer and vermicompost on yield and quality of sweet corn (*Zea mays* Hybrid Chase). *Journal of Crop Production and Processing*, *11*(4), 143-155. (In Persian with English abstract)
19. Hirzel, J., Donnay, D., Fernandez, C., Meier, S., Lagos, O., & Mejias-Barrera, P. (2018). Evolution of nutrients andsoil chemical properties of seven organic fertilizers in two contrasting soils under controlled conditions. *Chilean Journal of Agricultural* and *Animal Sciences*, *34*, 77–88. https://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000301
20. Hirzel, J., Matus, I., Novoa, F., & Walter, I. (2007). Effect of poultry litter on silage maize (*Zea mays* L.)

production and nutrient uptake. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *5*, 102-109. https://doi.org/10.5424/sjar/2007051-226

21. Jahanzad, E., Sadeghpoura, A., Lithourgidisb, A.S., Hashemi, M., Lithourgidis, A.M., Esmaeilic, A., & Hosseinic, M.B. (2014). Forage yield and quality of barley-annual medic intercrops in semi-arid environments. *International Journal of Plant Production*, *8*(1), 1735-8043.
22. 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*, *37*(1), 35-56. (In Persian with English abstract)
23. Judith, N., Chantigny, M., Dayegamiye, A., & Laverdiere, M. (2009). Dairy cattle manure improves soil productivity in low residue rotation systems. *Agronomy Journal*, *101*, 207-214. https://doi.org/10.2134/agronj2008.0142
24. Kariminejad, M., Pazoki, A., & Fooladi Toroghi, A. (2017). Effect of methods and amounts of complete fertilizer using on yield and yield components of corn variety in Shahr-e-Rey region. *Agronomy and Plant Breeding*, *12* (4), 15-33. (In Persian with English abstract)
25. Maghsudi, E., Ghalavand, A., & Aghaalikhan, M. (2014). The effect of different levels of fertilizer (organic, biological and chemical) on morphological traits and yield of maize single cross hybrid 704. *Applied Field Crops Reaserch*, *27*(104): 129-135. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/aj.2014.101820
26. McCready, R.M., Guggolz, J., Silviera, V., & Owens, H.S. (1950). Determination of starch and amylase in vegetables. *Analytical Chemistry*, *22*(9): 1156–1158.
27. Modirshanechi, M. (2015). Production and management of forage plants. First edition, Astan Ghadi Razavi Publications, Mashhad, 448 pp.
28. Mojab Ghasroddashti, A., Maghsoudi, E., Behzadi, Y., & Fereidooni, M.J. (2017). The effects of different sources of nitrogen on yield and yield component of sweet corn (*Zea mays* L. saccharata). *Journal of Agroecology*, *9*(1), 171- 184. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v9i1.52309
29. Muhammet, K. (2019). The effects of poultry manure and inorganic fertilizer applications on nitrogen and irrigation water use efficiency in forage corn cultivars. *Journal of Agricultural Faculty of Gazi Osman Pasa University*, *32*(1), 104-111. https://doi.org/10.13002/jafag767
30. Nelson, D. & Sommers, L. (1973). Determination of total nitrogen in plant material. *Agronomy Journal*, *65*(1), 109-112.
31. Rodney, K., Heitschmid, T., & Jerry, W.S. (2011). Grazing Management and Ecological Perspective, 2nd Ed. Timber Publishing, 259 pp.
32. Saeednejad, A.H., Rezvani Moqhaddam, P., Kazaei, H.R., & Nasir Mahalati, M. (2012). Assessment the effect of organic fertilizers, biofertilizers and chemical on forage quality of Sorghum. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *9*(4), 623-630. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v9i4.13241
33. Shata, S.M., Mahamoud, A., & Siam, S. (2007). Improving calcareous soil productivity by integrated effect of intercropping and fertilizer. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, *3*, 733-739.
34. Sharma, R., Singh, M., Kumar, P., & Sharma, A. (2020). Mineral profile of abandoned cows suffering from anestrus. *The Indian Journal of Animal Sciences*, *90*(4), 581-583. https://doi.org/10.56093/ijans.v90i4.104203
35. Suresh, G., Mehera, B., & Kumar, P. (2022). Effect of organic manures on growth and yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pharma Innovation*, *11*(7),759-762.
36. Thind, S.S., Sing, M., Sidhu, A.S., & Chhibba, I.M. (2018). Influence of continuous application of organic manures and nitrogen fertilizer on crop yield, N uptake and nutrient status under maize-wheat rotation. *Journal of Research Punjab Agricultural University*, *39*(3), 357-361.
37. Tilley, J.A. & Terry, R.A. (1963). A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crop. *Journal of British Grassland Society*, *18*, 104-111
38. Vajedi Roshan, S.A., Rahimi Petroudi, E., Mirzaie, G., & Mobasser, H. (2015). Effects of nitrogen fertilizers and manure (farmyard manure) on grain yield and yield components. *New Finding in Agriculture*, *9*(3), 237-251. (In Persian with English abstract)
39. Van Soest, P.J., Robertson, J.B., & Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, *74*(10), 3583-3596. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

40. Waniyo, U.U., Sauwa, M.M., Ngala, A.L., Abubakr, G.A., & Anelo, E.C. (2014). Influence of sources and rates of manure on yield and nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.) in Maiduguri, Nigeria. *Nigerian Journal of Basic and Applied Science*, *21*(4), 259-265. https://doi.org/10.4314/njbas.v21i4.3
41. Zeidan, M.S., Amany, A., & El. Kramany, M.F. (2016). Effect of N- fertilizer and plant density on yield quality of maize in sandy soil. *Research Journal of Agriculture and Biological Science*, *2*(4), 156-161.

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

Research Article
Vol. 16, No. 1, 2024, p. 147-158

The Effect of Seaweed Extract (*Ascophyllum nodosum*) on Quantitative and Qualitative Yield of Soybean

Safiyeh Arab[1], Mehdi Baradaran Firouzabadi[2*], Ahmad Gholami[2] and Mostafa Haydari[2]

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
(*- Corresponding author's Email: m.baradaran@.shahroodut.ac.ir)

Received: 20-08-2022
Revised: 12-12-2022
Accepted: 17-12-2022
Available Online: 17-12-2022

How to cite this article:
Arab, S., Baradaran Firouzabadi, M., Gholami, A., & Haydari, M. (2024). The effect of seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) on quantitative and qualitative yield of soybean. *Journal of Agroecology, 16*(1), 147-158. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2022.78292.1124

Introduction

Seed aging reduces the quality and quantity of agricultural production by reducing quality, viability, and irreversible seed vigor over time. Researchers are increasingly interested in seed aging, which is a serious problem in agriculture. To reduce damages caused during aging, various pretreatment techniques have been studied, including chemical compounds, growth regulators, and antioxidants. Sowing seeds in low osmotic potential osmotic solution is one method of slowing seed aging by osmopriming them. To reduce the negative effects of seed aging, biostimulants such as seaweed extract are used. In order to investigate the effect of seaweed extract on the quantitative and qualitative yield of soybean, an experiment was conducted in the two years of 2018 and 2019 in the research farm of Shahrood University of Technology.

Materials and Methods

The experimental treatments involved the acceleration of aging in two groups: normal seeds and aged seeds. Additionally, seaweed extract was applied at four different levels: control, seed pre-treatment with a seaweed extract concentration of 0.3%, foliar spraying with a seaweed extract concentration of 0.3%, and a combination of seed pre-treatment and foliar spraying with a seaweed extract concentration of 0.3%. This was conducted as a factorial experiment, employing a randomized complete block design with three replications. A sample of DPX was collected from the Mazandaran Agricultural Research Center. A controlled storage room was used to maintain the seeds at a temperature of 14-17°C and relative humidity of 30-40%. The seeds were harvested the same year as the experiment. In order to apply accelerated aging, the seeds were kept for 72 hours at a temperature of 41°C and relative humidity of 95%. Foliar spraying was done at the beginning of flowering (R1).

Results and Discussion

The results showed that accelerated aging decreased the mean daily emergence and germination index by 61.39 and 42.08% compared to the control. The pretreatment of soybean seeds made them more responsive to external stimuli and counteracted stress conditions before they emerged as seedlings. When the seeds were

©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.2022.78292.1124

pretreated with seaweed extract, the mean daily emergence and seed germination index increased. The weight of one hundred seeds and the number of pods per plant decreased by 11.64 and 11.38% compared to the control. The combined application of seed pretreatment and foliar spraying in normal and aging conditions had the highest hundred seed weight and the number of pods per plant. In protein-rich crops, seaweed biostimulants can increase protein production. Pretreatment of normal and aged seeds with seaweed extract increased by 1.48 and 1.61 percent of seed protein. In order to improve soybean germination percentage, protein, and seed yield, ellagic acid and seaweed extract should be used individually or combined. Accelerated aging caused a 32.69% decrease in seed yield compared to normal conditions. The combined application of pre-treatment and foliar spraying of seaweed extract had the highest seed yield, which increased by 87.85% compared to the control. Seed aging likely caused a reduction of seed yield by reducing the mean daily emergence, leaf area index, and 100-seed weight. There are three main characteristics (mean daily seedling field emergence, the number of pods per plant, and 100-seed weight) that can explain 85.96% of seed yield variability based on the coefficient of explanation. An analysis of causal connections between seed yield and 100-seed weight showed that seed protein content directly affects seed yield. By increasing the number of pods per plant and the weight of 100 seed, soybean seeds yield may be enhanced by using seaweed extract.

Conclusion

With its powerful antioxidant properties and anti-aging properties, seaweed extract minimizes the effects of aging on aged seeds. Finally, within the scope of the research, it is possible to suggest the use of pre-treatment and foliar spraying with seaweed extract to increase seed yield and protein percentage in normal and aged soybean seeds.

Keywords: Bio-fertilizer, Deterioration, Priming

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص ۱۵۷-۱۴۷

تأثیر عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) بر عملکرد کمی و کیفی سویا

صفیه عرب [۱]، مهدی برادران فیروزآبادی [۲*]، احمد غلامی [۲] و مصطفی حیدری [۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

چکیده

به‌منظور بررسی اثر عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) بر سویا آزمایشی در دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شاهرود اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل پیری تسریع شده در دو سطح بذور نرمال و بذور فرسوده و کاربرد عصاره جلبک در چهار سطح (شاهد، پیش‌تیمار بذور با عصاره جلبک دریایی با غلظت ۰/۳ درصد، محلول‌پاشی برگی با عصاره جلبک دریایی با غلظت ۰/۳ درصد و ترکیب توأم پیش‌تیمار بذور و محلول‌پاشی برگی با عصاره جلبک دریایی با غلظت ۰/۳ درصد) در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. محلول‌پاشی در مرحله آغاز گل‌دهی (R_1) انجام شد. نتایج نشان داد که فرسودگی موجب کاهش میانگین سبز شدن روزانه و شاخص جوانه‌زنی به‌میزان ۶۱/۳۹ و ۴۲/۰۸ درصد نسبت به شاهد شد. وزن صد دانه و تعداد غلاف در بوته در شرایط فرسودگی به‌میزان ۱۱/۶۴ و ۱۱/۳۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. کاربرد توأم پیش‌تیمار بذری و محلول‌پاشی برگی در هر دو شرایط نرمال و فرسودگی بالاترین میزان وزن صد دانه و تعداد غلاف در بوته را دارا بود. پیش‌تیمار بذور نرمال و فرسوده با عصاره جلبک به‌ترتیب موجب افزایش معنی‌دار ۱/۴۸ و ۱/۶۱ درصدی پروتئین نسبت به عدم کاربرد این ماده در این شرایط شد. اعمال پیری تسریع شده موجب کاهش ۳۲/۶۹ درصدی عملکرد دانه نسبت به شرایط نرمال شد. کاربرد توأم پیش‌تیمار و محلول‌پاشی عصاره جلبک، بالاترین میزان عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که نسبت به شاهد ۸۷/۸۵ درصد افزایش یافت. می‌توان کاربرد توأم پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عصاره جلبک را جهت افزایش عملکرد دانه و درصد پروتئین در بذور نرمال و فرسوده سویا پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: پرایمینگ، زوال بذر، کود زیستی

مقدمه

سویا (*Glycin max*) یکی از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین محصولات کشاورزی است که در سراسر جهان کشت می‌شود و به عنوان یک منبع مهم پروتئینی برای انسان و حیوان تبدیل شده است (Ksiezak & Bojarszczuk, 2022). بذر سویا دارای لیپید و پروتئین بالا می‌باشد و قابلیت جوانه‌زنی خود را فقط تا چند ماه در شرایط معمولی حفظ می‌کند، نگه‌داری و انبارداری بذر تا فصل بعدی رشد یا زمان فروش، یکی از مراحل مهم در صنعت بذر سویا می‌باشد و عدم توجه دقیق و کافی به آن موجب می‌شود بذر سویا دچار خسارت فیزیکی و فیزیولوژیک گردد و فرسودگی بذر تشدید شود (Noli et al., 2021). بذرهای فرسوده، قوه نامیه کمتری دارند که موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر و کاهش استقرار گیاه می‌شود (Wang et al., 2022). به‌طور کلی، می‌توان بیان کرد که فرسودگی بذر یک فرآیند غیرقابل انعطاف و برگشت‌ناپذیر است و در

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
۲- دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: m.baradaran@shahroodut.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2022.78292.1124

نهایت، بذر نیز مانند هر موجود زنده دیگری می‌میرد، ولی بررسی‌ها حاکی از آن است که با روش‌های انبارداری مناسب می‌توان سرعت فرسودگی را کاهش داد. علاوه‌بر روش‌های انبارداری برخی تیمارها مانند پیش‌تیمار بذور می‌توانند بر بهبود عملکرد بذر مؤثر باشند (Miljakovic et al., 2022). از جمله موادی که جهت کاهش فرسودگی بذور می‌توان استفاده کرد، عصاره جلبک‌های دریایی (*Ascophyllum nodosum*) است. از جلبک دریایی به‌عنوان کود در کشاورزی استفاده می‌شود. برخلاف کودهای شیمیایی، عصاره به‌دست آمده از جلبک دریایی از تخریب محیط زیست جلوگیری می‌نماید، غیر سمی است و آلودگی خطرناک برای انسان، حیوانات و پرندگان ایجاد نمی‌کند (Hamouda et al., 2022). عصاره جلبک دریایی شامل هورمون‌های گیاهی از قبیل اسید آبسیزیک، جیبرلین، براسینواستروئید، اتیلن، اکسین، سیتوکینین و حتی استریگولاکتون‌ها است که موجب تقویت این فرضیه می‌شود که مواد موجود در جلبک می‌تواند رشد گیاهان را تحریک کند (De Saeger et al., 2022). محققان اعلام کردند که کاربرد عصاره جلبک دریایی سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در سویا گردید (Arab et al., 2022; Patil et al., 2019). استفاده از عصاره جلبک دریایی به‌صورت پیش‌تیمار سبب افزایش درصد جوانه‌زنی در سویا (Chetna et al., 2015) و برنج (*Oryza sativa*) (Layek et al., 2018) گردیده است. عصاره جلبک از طریق افزایش در میزان کلروفیل گیاه، فتوسنتز را افزایش می‌دهد و از این طریق، سبب بهبود عملکرد گیاه می‌شود (Papachan et al., 2017).

مطالب بیان شده گویای این موضوع است که بروز هر گونه شرایط نامساعد از قبیل تنش‌های محیطی در مسیر تولید بذور و یا استفاده از شیوه‌های نامناسب تولید و پس از آن، نگه‌داری بذور می‌تواند موجب فرسودگی زودهنگام و کاهش توان واقعی بذر شود که خسارت جبران‌ناپذیری را برای تولیدکننده و کشور به‌دنبال خواهد داشت. لذا، یافتن راهکاری کارآمد برای کاهش آثار منفی ناشی از بذوری که به هر دلیل دچار فرسودگی شده‌اند، ضرورت دارد. در این تحقیق به بررسی اثر عصاره جلبک دریایی به‌صورت پیش‌تیمار بذری و محلول‌پاشی روی برگ در راستای بهبود بذرهای نرمال و فرسوده سویا و تقویت گیاهان حاصل از آن‌ها پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال زراعی (۱۳۹۸– ۱۳۹۷ و ۱۳۹۹– ۱۳۹۸) در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود طراحی و اجرا شد. تیمارها شامل پیری تسریع شده در دو سطح (بذور نرمال و بذور فرسوده) و عصاره جلبک قهوه‌ای *Ascophyllum nodosum* در چهار سطح (صفر، پیش‌تیمار بذور با غلظت ۰/۳ درصد، محلول‌پاشی برگی با غلظت ۰/۳ درصد و کاربرد توأم پیش‌تیمار بذور و محلول‌پاشی برگی با غلظت ۰/۳ درصد) بود.

عملیات کاشت سال اول و دوم به‌ترتیب در تاریخ‌های ۲۶ خرداد ۱۳۹۸ و ۲۰ خرداد ماه ۱۳۹۹ با دست و در عمق دو سانتی‌متری انجام شد. تراکم بوته در مزرعه معادل ۲۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. بذر سویای مورد استفاده در این آزمایش رقم DPX (کتول) بود و از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران تهیه شد. بذرهای مورد استفاده، بذرهای برداشت شده همان سال بودند که تا زمان آزمایش در انبار کنترل شده دارای سیستم خنک‌کننده و در محدوده دمایی ۱۴ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۳۰ تا ۴۰ درصد نگهداری شدند. بذور با هیپوکلریت سدیم یک درصد به‌مدت ۶۰ ثانیه ضدعفونی شدند و سپس، سه بار با آب مقطر شستشو شدند.

جهت اعمال پیری تسریع شده، بذور به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۴۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵ درصد قرار گرفتند (ISTA, 2009). پیش‌تیمار بذور با غلظت ۰/۳ درصد عصاره جلبک دریایی با رعایت اصول هوادهی بذر به‌مدت شش ساعت انجام شد. تیمار محلول‌پاشی نیز صبح زود و هنگام آغاز گل‌دهی (R_1) و در شرایط مساعد محیطی انجام شد. اندازه‌گیری صفات دو هفته پس از محلول-پاشی انجام شد. عصاره جلبک مورد استفاده با نام تجاری آکادین ساخت کشور کانادا و تمامی مواد شیمیایی مورد استفاده مرک آلمان بود.

میانگین سبز شدن روزانه در مزرعه شاخصی از سرعت جوانه‌زنی روزانه است و طبق معادله ۱ محاسبه شد (Ranal & De Santana, 2006).

$$MDG = \frac{GR\%}{D}$$ معادله (۱)

که در آن، MDG: میانگین سبزشدن روزانه در مزرعه، GR%: درصد جوانه‌زنی و D: طول دوره آزمایش است.

و شاخص جوانه‌زنی از مجموع نسبت تعداد کل بذرهای جوانه زده

(N) به تعداد روزهای پس از کاشت (t) محاسبه شد (Ruan, 2002).

معادله (۲)

$$GI = \frac{N}{t}$$

محتوای نسبی آب برگ طبق معادله ۳ و دو هفته پس از محلول-پاشی و قبل از انجام آبیاری در برگ‌های جوان یک سوم قسمت بالایی بوته‌ها اندازه‌گیری شد (Kramer, 1983). که در آن، Fw: وزن تر برگ، Dw: وزن خشک و Sw: وزن اشباع می‌باشد.

معادله (۳)

$$RWC=(\frac{Fw-Dw}{Sw-Dw})\times 100$$

اجزای عملکرد سویا شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه در ۱۵۵ روز پس از کاشت (رسیدگی کامل) روی ۱۰ بوته اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد نهایی تعداد ۲۰ بوته برداشت گردید. ابتدا غلاف‌های هر بوته و سپس دانه‌های موجود در هر غلاف جداسازی و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ وزن و در نهایت، عملکرد بر حسب گرم در مترمربع گزارش گردید.

مقدار نیتروژن موجود در دانه پس از برداشت با دستگاه NIR[1] مدل KJT-270 ساخت کشور ژاپن تعیین گردید. مقدار یک گرم نمونه آسیاب شده در محل مخصوص قرارگیری نمونه‌ها در دستگاه قرار داده شد و درصد نیتروژن نمونه با دستگاه اندازه‌گیری شد. برای تبدیل درصد نیتروژن به درصد پروتئین از معادله ۴ استفاده شد. ضریب تبدیل پروتئین ۵/۷۵ در نظر گرفته شد (AOAC, 1990).

معادله (۴)

ضریب تبدیل پروتئین × درصد نیتروژن = درصد پروتئین نمونه

آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه‌های میانگین داده‌ها به‌روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

میانگین سبز شدن روزانه در مزرعه و شاخص جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس صفات مربوط به جوانه‌زنی در جدول ۱ گزارش شده است. این صفت تحت تأثیر سال ($p<۰/۰۵$)، فرسودگی ($p<۰/۰۱$)، عصاره جلبک ($p<۰/۰۱$) و اثرات متقابل فرسودگی و عصاره جلبک ($p<۰/۰۵$) و سال و فرسودگی ($p<۰/۰۵$) قرار گرفت (جدول ۱). کمترین میزان این صفت معادل ۱/۲۲ بذر در روز بود که مربوط به بذور فرسوده بود. پیش‌تیمار بذور با عصاره جلبک در شرایط نرمال و فرسوده به‌ترتیب موجب افزایش ۱۲/۰۲ و ۵۷/۳۷ درصدی این صفت نسبت به عدم کاربرد عصاره شد (شکل ۱a). در هر دو سال زراعی، اعمال پیری تسریع شده موجب کاهش میانگین سبز شدن روزانه نسبت به شرایط نرمال شد. در سال اول در شرایط فرسودگی کاهش ۵۱/۱۰ درصدی و در سال دوم کاهش ۵۴/۶۷ درصدی این صفت نسبت به شاهد به ثبت رسید (شکل ۱b).

شاخص جوانه‌زنی بذور سویا در این پژوهش از فرسودگی ($P<۰/۰۱$) و عصاره جلبک ($p<۰/۰۵$) تأثیر پذیرفت (جدول ۱). اعمال پیری تسریع شده موجب کاهش ۴۲/۰۸ درصدی شاخص جوانه‌زنی نسبت به شرایط نرمال گردید (جدول ۲). زمانی که بذور با عصاره جلبک دریایی پیش‌تیمار شدند، افزایش ۲۰/۴۹ درصدی شاخص جوانه‌زنی بذر به ثبت رسید (جدول ۳).

میانگین سبز شدن روزانه، معیاری از سرعت و درصد جوانه‌زنی است، به‌طوری‌که هر چه درصد جوانه‌زنی بیشتر باشد، میانگین سبز شدن روزانه بیشتر می‌شود. دلیل کاهش این صفت در شرایط فرسودگی به کاهش فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن مربوط می‌شود. می‌توان چنین بیان کرد که اثر فرسودگی بذر بیشتر روی بنیه بذر است و ممکن است بذر درصد جوانه‌زنی مطلوبی داشته باشد، ولی از بنیه ضعیفی برخوردار باشد. در این صورت پس از قرار گرفتن در شرایط مزرعه‌ای ممکن است استقرار گیاهچه مناسب نباشد و در نهایت، منجر به بدسبزی گردد. محققان نیز دریافتند که فرسودگی بذر منجر به کاهش درصد سبز شدن نهایی و میانگین سبز شدن روزانه می‌شود و سبب افزایش احتمال تولید گیاهچه‌های غیر طبیعی و کاهش درصد استقرار بوته در مزرعه و در نهایت، در مواردی موجب کاهش عملکرد می‌گردد (Nazari et al., 2020 ; Weerasekara et al., 2021). افزایش درصد سبز شدن مزرعه با کاربرد عصاره جلبک دریایی به‌دلیل وجود جیبرلین و سیتوکینین، اکسین و پلی‌ساکاریدها در این ماده می‌باشد (Samuels et al., 2022).

1- Near Infrared Radiation

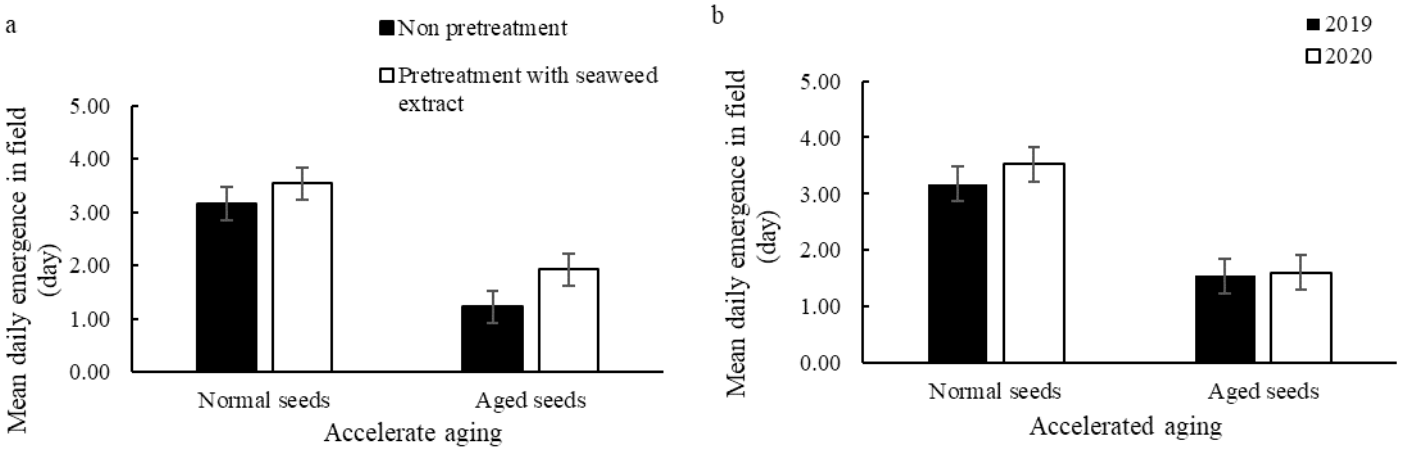
جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مربوط به جوانه‌زنی و عملکرد دانه سویا تحت پیری تسریع شده و عصاره جلبک

Table 1- Analysis of variance (mean of squares) for traits related to germination and grain yield of soybean under accelerated aging and seaweed extract

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین سبز شدن روزانه در مزرعه Mean daily emergence in field	شاخص جوانه زنی Germination index	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	وزن صد دانه 100-seed weight	درصد پروتئین Protein percentage	عملکرد دانه Grain yield
سال year	1	0.25*	0.80 ns	9.15 ns	0.88 ns	4.26E-23 ns	113.31 ns	0.007 ns	10413.0 ns
خطا error	4	0.005	2.98	20.94	8.41	0.011	21.58	2.43	11439.0
فرسودگی Aging (A)	1	19.03**	136.32**	36.86 ns	41.25**	0.013**	43.39*	3.77**	99706.0**
عصاره جلبک Pretreatment (B)	3	1.76**	16.50*	18.91 ns	334.17**	0.013**	30.90*	0.65**	52425.0**
A × B	3	0.16*	7.82 ns	18.14 ns	56.50**	0.048**	6.27 ns	1.35**	3082.03 ns
Y × A	1	0.14*	0.02 ns	11.93 ns	3.79 ns	6.41E-33 ns	0.10 ns	0.00007 ns	5306.62 ns
Y × B	3	0.0014 ns	1.98 ns	3.55 ns	4.18 ns	7.03E-33 ns	12.65 ns	0.015 ns	716.67 ns
Y × A × B	3	0.068 ns	4.95 ns	24.13 ns	5.73 ns	1.83E-32 ns	4.83 ns	0.015 ns	1941.2 ns
خطا Error	28	0.03	2.67	24.78	4.22	0.007	6.81	0.52	2729.54
ضریب تغییرات C.V (%)	-	7.06	8.31	11.21	5.22	3.56	16.50	1.93	22.39

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

*, ** and ns: Are significant at 0.05 and 0.01 probability levels and non significant, respectively



شکل ۱- اثرات پیری تسریع شده و پیش‌تیمار با عصاره جلبک (a) و مقایسه میانگین اثرات متقابل پیری تسریع شده و سال (b) بر میانگین سبز شدن روزانه سویا

Fig. 1- Effects of accelerated aging and pretreatment with seaweed extract (a) and comparison of the mean effects of accelerated aging and year (b) on the mean daily emergence of soybean

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی پیری تسریع شده بر شاخص جوانه‌زنی بذر، وزن صد دانه و عملکرد دانه سویا

Table 2- Mean comparison of main effects of accelerated aging on germination index, 100 seed weight and grain yield in soybean

تیمارها Treatments	شاخص جوانه‌زنی Germination index	وزن صد دانه 100-seed weight (g)	عملکرد دانه Grain yield ($g.m^{-2}$)
بذور نرمال Normal seeds	11.31	16.77	278.83
بذور فرسوده Aged seeds	6.55	14.86	187.68
LSD 5%	1.455	1.544	30.894

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی عصاره جلبک بر شاخص جوانه‌زنی بذر سویا

Table 3- Mean comparison of main effects of accelerated aging and seaweed extract on germination index in soybean

تیمارها Treatments	شاخص جوانه‌زنی Germination index
شاهد (بدون پیش‌تیمار) Control (non pretreatment)	8.10
عصاره جلبک Seaweed extract	9.76
LSD 5%	1.455

محتوای نسبی آب برگ

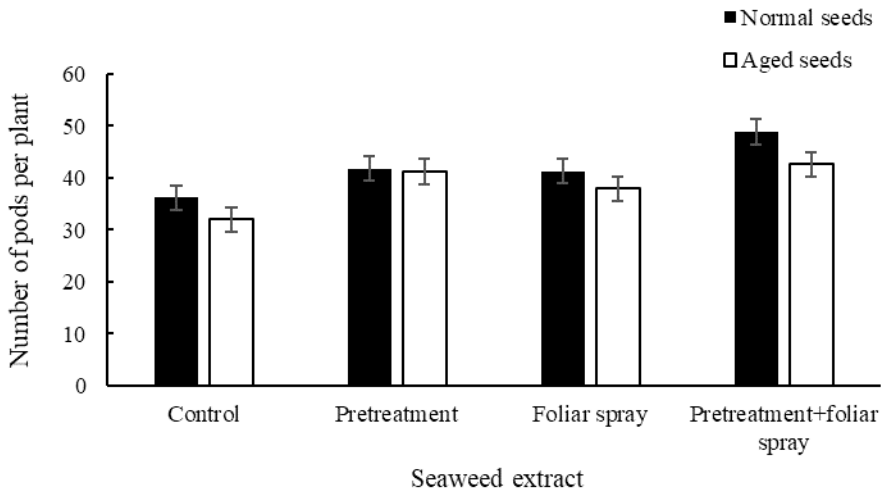
همان‌طور که نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد، محتوای نسبی آب برگ از هیچ یک از تیمارهای آزمایش تأثیر نپذیرفت (جدول ۱).

تعداد غلاف در بوته

این صفت از تیمارهای فرسودگی، عصاره جلبک و اثر متقابل این دو عامل در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۱). کاربرد عصاره جلبک در هر سه حالت پیش‌تیمار بذری، محلول‌پاشی برگی و کاربرد توأم پیش‌تیمار بذری و محلول‌پاشی برگی در هر دو شرایط نرمال و فرسودگی موجب افزایش تعداد غلاف در بوته نسبت به شرایط عدم کاربرد این ماده شد. بیشترین تعداد غلاف در بوته در گیاهان حاصل از بذور نرمال به‌همراه دریافت توأم پیش‌تیمار بذری و محلول‌پاشی برگی عصاره جلبک به‌دست آمد که معادل ۴۸/۸۳ غلاف در بوته بود. گیاهان حاصل از بذور فرسوده که عصاره جلبک دریافت نکرده بودند، کمترین میزان این صفت را دارا بودند که ۳۱/۹۵ عدد بود (شکل ۲). مشابه این نتایج، محققان گزارش کردند که فرسودگی موجب کاهش تعداد غلاف در بوته در لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) شد (Eisvand et al., 2017). عصاره جلبک دریایی حاوی مواد مغذی و معدنی بسیاری است که می‌تواند بر فرآیندهای رشدی و نمو گیاه از جمله تبدیل تعداد گل بیشتر به میوه (غلاف) در گیاهان اثر مثبت و فزاینده‌ای داشته باشد (Haghparast et al., 2012). مشابه نتایج این تحقیق، پژوهشگران در سویا نشان دادند که کاربرد عصاره جلبک دریایی موجب افزایش تعداد غلاف در بوته شد (Rathore et al., 2009).

تعداد دانه در غلاف

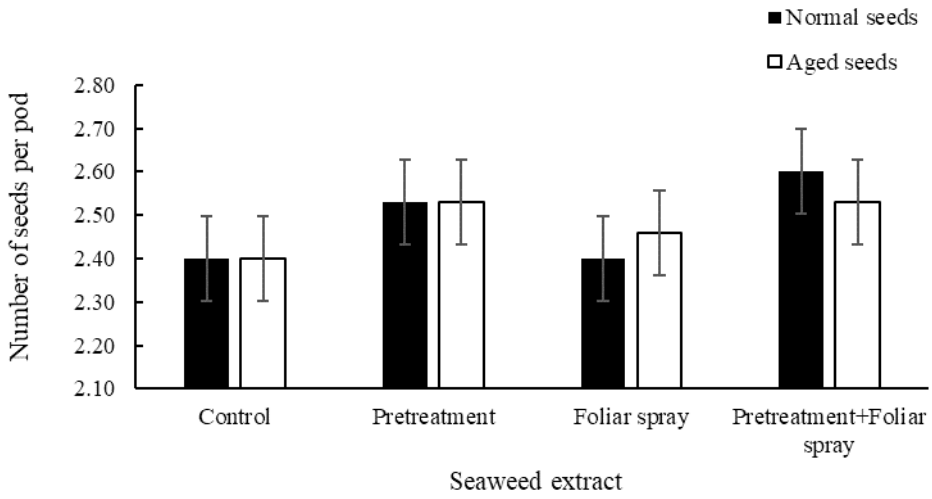
آنالیز آماری داده‌های مربوط به تعداد دانه در غلاف نشان داد که فرسودگی، عصاره جلبک و برهم‌کنش این دو عامل در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۱). تعداد دانه در غلاف در بذور نرمال و فرسوده بدون دریافت عصاره جلبک، یکسان بود و اختلافی با یکدیگر نشان ندادند. در هر دو حالت نرمال و فرسودگی، کاربرد عصاره جلبک به‌صورت پیش‌تیمار بذری و کاربرد توأم پیش‌تیمار و محلول‌پاشی موجب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در غلاف نسبت به شاهد شد. این در حالی است که استفاده از این ماده تنها به‌صورت محلول‌پاشی برگی اختلافی با شاهد نشان نداد (شکل ۳).



شکل ۲- اثرات متقابل پیری تسریع شده و کاربرد عصاره جلبک بر تعداد غلاف در بوته در سویا

Fig. 2- Effects of accelerated aging and seaweed extract on the number of pods per plant of soybean

محققان دلیل کاهش تعداد دانه در غلاف را این‌طور بیان کرده‌اند که طی فرسودگی بذر، استقرار بوته در مزرعه کمتر می‌شود و گیاه قادر به تأمین نیاز کربن و نیتروژن گل و میوه‌های تولید شده نیست و از طرفی، با گذشت زمان این نیازها بیشتر می‌شود و انتقال مواد فتوسنتزی از بخش‌های رویشی به زایشی تداوم می‌یابد. این پدیده موجب می‌شود که بافت‌های رویشی دچار پیری شوند و به‌دنبال آن تعداد دانه در غلاف تا سطح معنی‌داری کاهش یابد (Eisvand et al., 2017). کاربرد عصاره جلبک دریایی موجب افزایش تعداد دانه در غلاف در گیاه سویا شد (Rathore et al, 2009). اثرات مطلوب عصاره جلبک دریایی بر تعداد دانه در غلاف در ذرت (*Zea mays*) (Ahmadi et al., 2020) و در کلزا (*Brassica napus*) (Azarmehr et al., 2017) نیز اعلام شده است.



شکل ۳- اثرات متقابل پیری تسریع شده و کاربرد عصاره جلبک بر تعداد دانه در غلاف در سویا

Fig. 3- Effects of accelerated aging and seaweed extract on the number of seeds per plant of soybean

وزن صد دانه

در این پژوهش، وزن صد دانه سویا تنها از اثرات اصلی فرسودگی و عصاره جلبک در سطح احتمال پنج درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۱). گیاهان حاصل از بذور فرسوده وزن صد دانه کمتری (۱۱/۳۸ درصد)

را نسبت به بذور نرمال دارا بودند (جدول ۲). استفاده از عصاره جلبک به‌صورت پیش‌تیمار بذری و کاربرد توأم پیش‌تیمار بذری و محلول-پاشی برگی موجب افزایش ۱۵/۹۱ و ۲۴/۲۶ درصدی وزن صد دانه نسبت به شاهد شد (جدول ۴).

کاهش وزن صد دانه در این تحقیق بر اثر فرسودگی بذر ممکن است به‌دلیل کاهش رشد اندام‌های فتوسنتزکننده در اثر کیفیت پایین بذر باشد. لذا، کاهش سطح برگ در شرایط فرسودگی از طریق کاهش سرعت فتوسنتز خالص در نهایت، وزن صد دانه را تا سطح معنی‌دار کم کرده است. محققان بیان کردند که وزن صد دانه به مقدار ماده ساخته شده فتوسنتزی موجود و به ظرفیت دانه‌ها برای ذخیره‌سازی بستگی دارد و کاهش هرکدام از این دو مورد موجب کاهش وزن صد دانه می‌گردد (Eisvand et al., 2017). کاربرد عصاره جلبک دریایی در این تحقیق احتمالاً از طریق افزایش شاخص سطح برگ موجب افزایش وزن صد دانه سویا شدند. اثرات مطلوب عصاره جلبک دریایی بر وزن صد دانه در گیاهان اعلام شده است (Ahmadi et al., 2020; Azarmehr et al., 2018; Rathore et al., 2009).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات اصلی عصاره جلبک بر وزن صد دانه و عملکرد دانه سویا

Table 4- Mean comparison of main effects of seaweed extract on 100 seed weight and grain yield in soybean

تیمارها Treatments	وزن صد دانه 100-seed weight	عملکرد دانه Grain yield
شاهد Control	14.26	167.21
پیش‌تیمار Pretreatment	16.53	258.23
محلول‌پاشی Foliar spray	14.74	193.46
پیش‌تیمار + محلول‌پاشی Pretreatment + foliar spray	17.72	314.11
LSD 5%	2.183	43.690

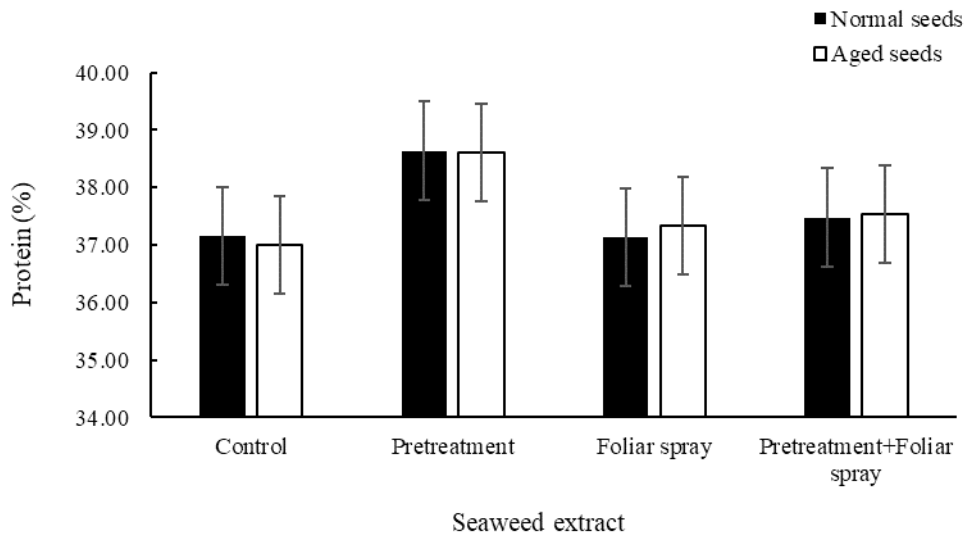
درصد پروتئین

درصد پروتئین بذور سویا از فرسودگی، عصاره جلبک و اثر متقابل این دو عامل در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۱). نتایج مقایسه‌های میانگین اثرات متقابل نشان داد که پیش‌تیمار بذور نرمال و فرسوده با عصاره جلبک به‌ترتیب موجب افزایش معنی‌دار ۱/۴۸ و ۱/۶۱ درصدی پروتئین نسبت به عدم کاربرد این ماده در این شرایط شد و این در حالی است که کاربرد سطوح دیگر این ماده اختلافی با شاهد نداشت (شکل ۴).

به نظر می‌رسد که استفاده از عصاره جلبک دریایی موجب قوی‌تر شدن بذور شد و در نتیجه، گیاهان قوی‌تری رشد کرده است و مواد فتوسنتزی بیشتر و در نهایت، پروتئین دانه بیشتر شده است. افزایش در میزان پروتئین گیاهان تیمار شده با عصاره جلبک به حضور هورمون‌های رشد، عناصر مغذی کم‌مصرف و پرمصرف (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، سدیم، بور، آهن، منگنز، روی و مس)، ویتامین‌ها و اسیدهای‌آمینه موجود در عصاره جلبک دریایی نسبت داده شده است (Sivasangari Ramya et al., 2015). پژوهشگران بیان کردند که استفاده از محرک‌های زیستی از جمله عصاره جلبک موجب افزایش میزان پروتئین در گیاهان غنی از پروتئین از جمله سویا می‌شود (Deolu-Ajayi et al., 2021). این محققان گزارش کردند که علت افزایش پروتئین می‌تواند جذب مواد مغذی موجود در این مواد باشد که برای ساخت پروتئین ضروری هستند.

عملکرد دانه

عملکرد دانه از تیمارهای فرسودگی و عصاره جلبک دریایی در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۱). این صفت در گیاهان حاصل از بذور فرسوده نسبت به گیاهان حاصل از بذور نرمال، ۳۲/۶۹ درصد کمتر بود (جدول ۲). پیش‌تیمار بذور و محلول‌پاشی برگی با عصاره جلبک موجب افزایش ۵۴/۴۳ و ۱۵/۶۹ درصدی این صفت نسبت به شاهد شد. بالاترین عملکرد دانه در گیاهانی مشاهده شد که عصاره جلبک را هم به‌صورت پیش‌تیمار بذری و هم محلول-پاشی برگی دریافت کرده بودند که نسبت به شاهد ۸۷/۸۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴).



شکل ٤- اثرات متقابل پیری تسریع شده و کاربرد عصاره جلبک بر درصد پروتئین سویا

Fig. 4- Effects of accelerated aging and seaweed extract on the protein of soybean

در این پژوهش، فرسودگی بذر سبب کاهش میانگین سبز شدن روزانه مزرعه، تعداد غلاف در بوته و وزن صد دانه گردید که همه این‌ها می‌توانند دلایلی برای کاهش عملکرد دانه در این شرایط باشند. استفاده از عصاره جلبک دریایی ممکن است با افزایش وزن صد دانه و تعداد غلاف در بوته موجب افزایش عملکرد دانه شده باشد. افزایش عملکرد در گیاهان تیمار شده با عصاره جلبک دریایی به حضور عناصر ضروری و هورمون‌ها در عصاره جلبک دریایی به‌خصوص سیتوکینین‌ها می‌تواند مرتبط باشد. این افزایش در میزان سیتوکینین در دسترس گیاه موجب شروع گل‌دهی و افزایش عملکرد در گیاه می‌شود (Kocira et al., 2018). نتایج این پژوهش با نتایج محققین دیگر در مورد افزایش عملکرد محصول سویا با کاربرد عصاره جلبک دریایی مطابقت دارد (Kocira et al., 2019; Patil et al., 2019).

تجزیه علیت

از تجزیه علیت جهت تعیین سهم اثرهای مستقیم و غیر مستقیم متغیرها بر عملکرد دانه استفاده شد. زمانی که عملکرد دانه به‌عنوان صفت وابسته در نظر گرفته شد، صفات میانگین سبز شدن روزانه در مزرعه، تعداد غلاف در بوته و وزن صد دانه به‌میزان ۸۵/۹۶ درصد از تغییرات را توجیه کردند (جدول ۵). در این بین، صفت وزن صد دانه بالاترین همبستگی مثبت و مستقیم را دارا بود که معادل ۰/۵۷ بود و بعد از آن به‌ترتیب صفات تعداد غلاف در بوته (۰/۳۴) و میانگین سبز شدن روزانه (۰/۳۲)، اثر مستقیم و مثبت بر عملکرد دانه نشان دادند.

جدول ۵- تجزیه علیت عملکرد دانه تحت تأثیر صفات میانگین سبز شدن روزانه، تعداد غلاف در بوته و وزن صد دانه (عملکرد دانه صفت وابسته است)

Table 5- Path coefficient analysis of mean daily emergence, number of pods per plant and 100 seed weight traits on seed yield (seed yield is dependent trait).

صفات Traits	میانگین سبز شدن روزانه Mean daily emergence	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	وزن صد دانه 100 seed weight	اثرات کل Total effect
میانگین سبز شدن روزانه Mean daily emergence	0.32	0.09	0.16	0.58
تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	0.08	0.34	0.19	0.62
وزن صد دانه 100-seed weight	0.09	0.11	0.57	0.78
R- square	0.8596			

اعداد موجود در قطر نشان‌دهنده اثرات مستقیم و خارج از قطر نشان‌دهنده اثرات غیرمستقیم صفات بر روی عملکرد دانه می‌باشند.

Direct (bold) and indirect effects of traits on seed yield.

نتیجه‌گیری

نتایج مربوط به اجزای عملکرد نشان داد که با اعمال فرسودگی از تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه و در نهایت، عملکرد دانه تا سطح قابل ملاحظه‌ای کاسته شد. با توجه به اینکه صفات ذکر شده از اجزای مهم عملکرد هستند، کاهش هرکدام تأثیر زیادی بر عملکرد نهایی می‌گذارد. نتایج حاکی از آن است که این صفات با کاربرد عصاره جلبک دریایی به‌صورت پیش‌تیمار بذری و محلول‌پاشی برگی تا سطح قابل توجهی افزایش نشان دادند. در نهایت، در محدوده پژوهش انجام شده می‌توان پیشنهاد نمود که کاربرد عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) به‌صورت پیش‌تیمار بذری و محلول‌پاشی برگی با غلظت ۰/۳درصد، سبب بهبود اثرات فرسودگی بذر در گیاه سویا می‌گردد و در این پژوهش، کاربرد این ماده به‌صورت پیش‌تیمار بذری بهتر از حالت محلول‌پاشی برگی عمل کرد.

References

1. Ahmadi, F., Pasari, B., & Javaheri, M. (2020). Study the corn (*Zea mays* L.) response to the application of various chemical, nano, nano-biological fertilizers and organic extract of seaweed. *Journal of Plant Ecophysiology*, *12*(2), 188-203. (In Persian with English abstract)
2. AOAC (Association Official Methods of Analysis). (1990). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. Washington.
3. Arab, S., Baradarn Firouzabadi, M., Gholami, A., & Haydari, M. (2022). Physiological responses of soybean plants to pretreatment and foliar spraying with Ellagic acid and Seaweed extract under accelerated aging. *South African Journal of Botany*, *148*, 510-518. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.05.005
4. Azarmehr, A.R., Baghi, M., & Zyani, N.M. (2017). Application of seaweed extract and sulfated sulfur fertilizer on yield and some yield components of autumn rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivar Natali. *Desert Resarch*, *14*, 155–165. (In Persian with English abstract)
5. Chetna, M., Rai, S., Sase, N., Krish, S., & Mangalam, A.J. (2015). Enteromorpha intestinalis derived seaweed liquid fertilizers as prospective biostimulant for *Glycine max*. *Brazilian Archives Biology and Technology*, *58*(6), 813-820.http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132015060304
6. Deolu-Ajayi, A., Vandermeer, I., Van der Werf, A., & Karlova, R. (2021). The power of seaweeds as plant biostimulants to boost crop production under abiotic stress. *Authorea preprints*. https://doi.org/10.1111/pce.14391
7. De Saeger, J., Van Praet, S., Vereecke, D., Park, J., Jacques, S., Han, T., & Depuydt, S. (2020). Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascophyllum nodosum* extracts on plants. *Journal Applied Phycology*, *32*, 573–597. https://doi.org/10.1007/s10811-019-01903-9
8. Elias, S.G., & Copeland, L.O. (2001). Physiological and harvest maturity of canola in relation to seed quality. *Agronomy Journal*, *93*, 1054-1058. https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351054x
9. Eisvand, H.R., Dousti, A., Hosseini, N.M., & Babaie, A.P. (2014). Effects of PGPR bacteria and seed ageing on improving common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield and yield components. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *45*(2), 33-42. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/IJFCS.2014.51906
10. Haghparast, M., Maleki, F.S., Sinaki, J.M., & Zarei, G.H. (2012). Mitigation of drought stress in chickpea through application of humic acid and seaweed extract. *Crop Production in Environmental Stress*, *1*(4), 59-71. (In Persian with English abstract)
11. Hamouda, M.M., Saad-Allah, K.M., & Gad, D. (2022). Potential of seaweed extract on growth, physiological, cytological and biochemical parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *4*(2), 1-14.https://doi.org/10.1007/s42729-022-00774-3
12. ISTA (International Seed Testing Association). (2009). International rules for seed testing. *Seed Science and Technology*, *49*, 86-41.
13. Kocira, S., Szparaga, A., Kocira, A., Czerwinska, E., Wojtowicz, A., Bronowicka-Mielniczuk, U., Koszel, M., & Findura, P. (2018). Modelling biometric traits, yield and nutritional and antioxidant properties of seeds of three soybean cultivars through the application of biostimulant containing seaweed and amino acids. *Front Plant Science*, *9*(1), 388.https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00388
14. Kocira, S., Szparaga, A., Kubo, M., Czerwinska, E., & Piskier, T. (2019). Morphological and biochemical

responses of *Glycine max* (L.) Merr. to the use of seaweed extract. *Agronomy*, *9*(1), 93. https://doi.org/10.3390/agronomy9020093

15. Kramer, P.S. 1983. Water Relation of Plants. Academic Press. 342-415.
16. Ksiezak, J., & Bojarszczuk, J. (2022). The seed yield of soybean cultivars and their quantity depending on sowing term. *Agronomy*, *12*(5), 1066. https://doi.org/10.3390/agronomy12051066
17. Layek, J., Das, A., Ramkrushna, G.I, Sarkar, D., Ghosh, A., Zodape, S.T., Lal, R., Yadav, G.S., Panwar, A.S., Ngachan, S., & Meena, R.S. (2018). Seaweed extract as organic bio-stimulant improves productivity and quality of rice in eastern Himalayas. *Journal Applied Phycology*, *30*, 547-558. https://doi.org/ 10.1007/s10811-017-1225-0
18. Miljakovic, D., Marinkovic, J., Tamindzic, G., Dordevic, V., Tintor, B., Milosevic, D., Ignjatov, M., & Nikolic, Z. (2022). Bio-Priming of soybean with *Bradyrhizobium japonicum* and *Bacillus megaterium*: Strategy to improve seed germination and the initial seedling growth. *Plants*, *11*(15), 19-27. https://doi.org/10.3390/plants11151927
19. Nazari, R., Parsa, S., Tavakkol Afshari, R., Mahmoodi, S., & Seyyedi, S.M. (2020). Salicylic acid priming before and after accelerated aging process increases seedling vigor in aged soybean seed. *Journal Crop Improvement*, *34*(2), 218-237. https://doi.org/10.1080/15427528.2019.1710734
20. Noli, Z.A., & Aliyyanti, P. (2021). Effect of liquid seaweed extracts as biostimulant on vegetative growth of soybean. May 2021. In IOP conference series: *Earth and Environmental Science*, *759*(1), 202-221. https://doi.org/10.1088/1755-1315/759/1/012029
21. Papachan, A., Bariampan, L., & Trivedy, K. (2017). Effect of application of *Ascophyllum nodosum* extract on the yield and quality of mulberry leaves. *Bioscience Discovery*, *8*(2), 235-240.
22. Patil, S., Bhalerao, G.A., More V.R., & Waghmare, P.K. (2019). Effect of combination of inorganic fertilizer and seaweed extract on growth and yield of soybean crop. *Journal of Chemistry*, *7*(6), 2304-2306.
23. Ranal, M.A., & De Santana, D.G. (2006). How and why to measure the germination process? *Revista Brazil, Botanicue*, *29*(1), 1-11. https://doi.org/10.1590/S0100-84042006000100002
24. Rathore, S.S., Chaudhary, D.R., Boricha, G.N., Ghosh, A., Bhatt, B.P., Zodape, S.T., & Patolia, J.S. (2009). Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. *South African Journal of Botany*, *75*, 351-355. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.10.009
25. Ruan, S. (2002). The influence of priming on germination of rice seeds and seedling emergence and performance in flooded soil. *Seed Science and Technology*, *30*, 61-67.
26. Samuels, L.J., Setati, M.E., & Blancquaert, E.H. (2022). Towards a better understanding of the potential benefits of seaweed based biostimulants in *Vitis vinifera* L. Cultivars. *Plants*, *11*(3), 348. https://doi.org/10.3390/plants11030348
27. Sivasangari Ramya, S., Vijayanand, N., & Rathinavel, S. (2015). Foliar application of liquid biofertilizer of brown alga *Stoechospermum marginatum* on growth, biochemical and yield of *Solanum melongena*. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, *1*(2), 1-7. https://doi.org/ 10.1007/s40093-015-0096-0
28. Wang, B., Yang, R., Ji, Z., Zhang, H., Zheng, W., Zhang, H., & Feng, F. (2022). Evaluation of biochemical and physiological changes in sweet corn seeds under natural aging and artificial accelerated aging. *Agronomy*, *12*(5), 1028. https://doi.org/10.3390/agronomy12051028
29. Weerasekara, I., Sinniah, U.R., Namasivayam, P., Nazli, M.H., Abdurahman, S.A., & Ghazali, M.N. (2021). Priming with humic acid to reverse ageing damage in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill. seeds. *Agriculture*, *11*(966), 1-18. https://doi.org/10.3390/agriculture11100966

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

Research Article
Vol. 16, No. 1, 2024, p. 159-179

Monitoring and Accounting of Ecological Sustainability of Sistan's Oil Crop using Emergy and Economic Indicators

Narges Pordel[1], Mohamamd Reza Asgharipour[2*] and Esmaeel Seyedabadi[3]

1, 2 and 3- Graduated M.Sc., Professor and Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran, respectively.
(*- Corresponding author's Email: m_asgharipour@uoz.ac.ir)

Received: 16-10-2022
Revised: 11-12-2022
Accepted: 25-12-2022
Available Online: 25-12-2022

How to cite this article:
Pordel, N., Asgharipour, M.R., & Seyedabadi, E. (2024). Monitoring and accounting of ecological sustainability of Sistan's oil crop production using emergy and economic indicator. *Journal of Agroecology*, *16*(1), 159-179. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2022.79219.1126

Introduction

The application of various inputs, such as pesticides and chemical fertilizers, has been one of the most significant factors negatively impacting the sustainability of agricultural systems. To accurately assess the value of agricultural ecosystem services, both the positive and negative aspects of agricultural systems must be taken into account. In the past three decades, the emergy analysis has been developed for assessing environmental policies and resource quality based on the dynamics of complex environmental and economic systems. Emergy analysis can be used to evaluate the sustainability of agriculture. By definition, emergy is the amount of direct or indirect solar energy required to produce a good or service. By converting all forms of energy, resources, and services into a single unit, the solar emjoule (sej), emergy analysis can assess the interdependence of economic, social, and environmental factors. The production of three important oil crops of Sistan, including rapeseed, safflower, and sesame, was investigated using emergy and economic analysis techniques to evaluate the ecological health and productivity of the use of inputs in the production of oil crops in Sistan.

Materials and Methods

This research was conducted at the level of Sistan's oil plant production systems in the Northern provinces of Sistan and Baluchistan. This research used questionnaires and face-to-face interviews with the owners of small ownership systems to determine the input consumption and performance of these systems. According to their service life, the annual input energy flow in the form of structural facilities, buildings, machinery, and materials used in the systems was calculated. The RUSLE model was used to assess water erosion. Inputs are divided into four categories to analyze production systems: renewable environmental resources (R), non-renewable environmental resources (N), purchased renewable resources (F_R), and purchased non-renewable resources (F_N). After calculating all input and output flows, the raw data for each of the production systems was multiplied by their unit emergy value in Joules, grams, or Rials, according to Iran's conditions. This study utilized transformity, the renewable emergy ratio (R%), the rmergy yield ratio (EYR), the rmergy investment ratio (EIR), the rnvironmental loading ratio (ELR), the emergy sustainability index (ESI), the emergy exchange ratio (EER), and the emergy index of product safety (EIPS).

©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.2022.79219.1126

Results and Discussion

The total supporting emergy for rapeseed, safflower, and sesame production systems was calculated to be 7.28E+16, 4.75E+16, and 3.55E+16 sej.ha^{-1}.yr^{-1}, respectively. In all three studied production systems, wind emergy was the largest source of free environmental input. In all three studied systems, environmental non-renewable inputs accounted for the largest portion of total emergy input, which was 83.42 percent for rapeseed, 80.11 percent for safflower, and 84.4 percent for sesame. The high proportion of nonrenewable inputs in this study for all three production systems demonstrated the vulnerability of Sistan's landscape cultivation systems as a result of the obvious lack of water, severe soil erosion, and contamination of agricultural lands. The total amount of purchased inputs for rapeseed, safflower, and sesame production systems was estimated to be 1.14E+16, 8.78E+15, and 5.40E+15 sej.ha^{-1}.yr^{-1}, respectively. Nitrogen and phosphorus chemical fertilizers comprised the largest proportion of purchased inputs in all three systems.

The transformity for rapeseed, safflower, and sesame production systems, respectively, was 3.88E+06, 3.76E+06, and 2.48E+06 sej.J^{-1}. The higher transformability of the rapeseed production system was due to the lower input utilization efficiency of this system compared to the safflower and sesame systems. The values of the saffron system's environmental sustainability indices (ESI and ESI*), renewable energy ratio (%R), environmental loading ratios (ELR and ELR*), and modified investment ratio (EIR*) indicate that this system is more sustainable. The lower health of rapeseed and sesame systems based on emergy indices was primarily due to the large proportion of input emergy related to organic matter losses and soil erosion, which are nonrenewable environmental resources. The economic analysis revealed that the sesame production system generated a higher profit-to-cost ratio and net profit than the safflower and rapeseed systems.

Conclusion

This study demonstrated that emphasizing practical solutions in the comprehensive management of production ecosystems, particularly through the protection of soil organic matter and the prevention of erosion, can significantly enhance their ecological health.

Keywords: Economic analysis, Environmental burden, Environmental inputs, Profitability analysis, Rapeseed, Renewable resources

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص ۱۷۹-۱۵۹

ارزیابی و پایش پایداری اکولوژیکی بوم‌نظام‌های زراعی تولید روغن در سیستان با استفاده از تکنیک‌های تحلیل امرژی و اقتصادی

نرگس پردل[۱]، محمدرضا اصغری پور[۲]* و اسماعیل سیدآبادی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴

چکیده

به‌منظور ارزیابی سلامت اکولوژیکی و بهره‌وری استفاده از نهاده‌ها در تولید گیاهان روغنی سیستان تولید سه محصول روغنی با اهمیت منطقه شامل کلزا (*Brassica napus* L.)، گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.) با استفاده از تکنیک‌های تحلیل امرژی و اقتصادی مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات این پژوهش توسط پرسش‌نامه و مصاحبه چهره به چهره با مالکین نظام‌های خرده مالکی برای تعیین میزان مصرف نهاده‌ها و میزان عملکرد آن‌ها گردآوری شد. امرژی کل حمایت‌کننده نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد سیستان به‌ترتیب $۷/۲۸\times۱۰^{۱۶}$، $۴/۷۵\times۱۰^{۱۶}$ و $۳/۵۵\times۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال به‌دست آمد. بالاترین سهم از ورودی امرژی کل در هر سه نظام مورد مطالعه به ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی مربوط بود که سهم آن برای نظام‌های تولید کلزا ۸۳/۴۲ درصد، گلرنگ ۸۰/۱۱ درصد و کنجد ۸۴/۴۱ درصد به‌دست آمد. مقادیر شاخص‌های امرژی، پایداری زیست‌محیطی (ESI و *ESI)، درصد تجدیدپذیری (%R)، بار زیست‌محیطی (ELR و *ELR) و نسبت سرمایه‌گذاری اصلاح شده (*EIR) در نظام گلرنگ حاکی از پایداری بیش‌تر این نظام می‌باشد. دلیل اصلی سلامت کم‌تر نظام‌های کلزا و کنجد براساس شاخص‌های امرژی، سهم زیاد امرژی ورودی مربوط به تلفات ماده‌آلی و فرسایش خاک که در دسته منابع تجدیدناپذیر محیطی قرار دارند، بود. تحلیل اقتصادی نشان‌دهنده نسبت سود به هزینه و سود خالص بالاتر نظام تولید کنجد نسبت به دو نظام گلرنگ و کلزا بود. نتایج این مطالعه نشان داد که توجه به راهکارهای عملی در مدیریت جامع بوم‌نظام تولیدی به‌ویژه حفاظت از مواد آلی خاک و جلوگیری از فرسایش، می‌تواند در سلامت اکولوژیکی آن‌ها تأثیر چشم‌گیری داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: بار محیط زیستی، تحلیل اقتصادی، تحلیل سودآوری، کلزا، منابع تجدیدپذیر، ورودی های محیط زیستی

مقدمه

رشد فزاینده جمعیت و بحران کمبود غذا، سبب بهره‌برداری بیش از اندازه منابع طبیعی و در نهایت، برهم خوردن توازن بیولوژیکی شده است (Kouchaki, 1997). امنیت غذایی هر کشوری توسط بخش کشاورزی تأمین و تضمین می‌شود (Gheicari et al., 2022). بخش کشاورزی موظف به تأمین غذای کافی برای جمعیت رو به رشد جهان می‌باشد. مسئله مهمی که باید در نظر گرفته شود، این است که نظام‌های کشاورزی علاوه‌بر حفظ محیط زیست با شیوه‌های صحیح، هم‌زمان باید بتوانند معیشت پایدار برای کشاورزان را نیز فراهم آورند (Nazarian et al., 2020). از مهم‌ترین اقداماتی که به‌شدت پایداری اکولوژیکی نظام‌های کشاورزی را تحت تأثیر قرار داده است، کاربرد نهاده‌های گوناگون از قبیل سموم و کودهای شیمیایی، بدون در نظر

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، استاد و استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: m_asgharipour@uoz.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2022.79219.1126

گرفتن وضعیت و ساختار نظام تولید، میزان بهره‌وری، پیامدهای آنی و طولانی‌مدت بر محیط زیست است (Seyedan, 2003). بوم‌نظام‌های زراعی تبعات زیست‌محیطی گسترده‌ای به همراه دارند که تولید گازهای گلخانه‌ای، نشت بقایای کود و سموم شیمیایی به آب و خاک، فرسایش خاک، کاهش تنوع زیستی و تخریب زیستگاه‌های حیات وحش از جمله آن‌ها محسوب می‌شوند (Dale Pretty et al., 2000 & Polasky, 2007; Syswerda, 2009). امروزه مصرف انرژی[1] در بخش کشاورزی به‌دلیل رشد جمعیت و تهیه مواد غذایی کافی برای جمعیت در حال رشد، افزایش یافته و کشاورزی به‌عنوان مصرف‌کننده فشرده انرژی مطرح می‌باشد (Fei et al., 2017). در مناطق زیادی از دنیا به‌دلیل افزایش شدید ورودی‌های تجدیدناپذیر، وضعیت اکولوژیکی خاک، ضعیف و وابستگی تولید و عملکرد به این ورودی‌ها شدید شده است (Xueping & Qian, 2007). از طرف دیگر، محدودیت منابع و اثر سوء مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر همچون سوخت‌های فسیلی بر روی محیط زیست و سلامت انسان، مطالعه الگوهای مصرف انرژی را در نظام‌های زراعی امری اجتناب‌ناپذیر و ضروری ساخته است (Yuosefi & Mahdavi Damghani, 2013). استفاده بهینه از انرژی به‌خصوص در بخش کشاورزی، یکی از مهم‌ترین موارد در توسعه پایدار می‌باشد (Fallahinejad and Armin, 2022). به همین جهت، توسعه بخش کشاورزی بدون ارزیابی پایداری، اثرات زیان‌بار و جبران‌ناپذیری را به دنبال دارد (Vahedi et al., 2009). یکی از راهکارهای توسعه کشاورزی و پایداری تولید، استفاده از روابط و محاسبات مربوط به جریان انرژی است. آنچه که باید در گام نخست مورد توجه واقع شود، این است که در شرایط فعلی توجه به تعاملات انرژی و محیط زیست امری ضروری محسوب شود (Ministry of Power, 2011). حفظ و ایجاد پایداری مستلزم ارزیابی وضعیت سلامت اکولوژیکی از طریق روش‌های صحیح و جامع می‌باشد (Quintero-Angel & Gonzalez-Acevedo, 2018). برای ارزیابی دقیق ارزش خدمات بوم‌نظام‌های زراعی لازم است که جنبه‌های مثبت و منفی نظام‌های کشاورزی (تبعات زیست‌محیطی آن) به‌طور هم‌زمان مورد توجه قرار گیرد (Koocheki et al., 2016). انتخاب و روش محاسبه شاخص‌ها، نقش مهمی برای ارزیابی پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی ایفا می‌کنند (Shah hoseini and Kazemi, 2022). این روش‌ها شامل تحلیل ورودی- خروجی، اندازه‌گیری ردپای بوم‌شناختی، ارزش‌گذاری بوم‌شناختی، ارزیابی چرخه حیات، تحلیل انرژی و تحلیل امرژی است (Patterson et al., 2017). تکنیک تحلیل امرژی[2] در سه دهه گذشته توسعه یافته است و به‌عنوان ابزاری برای سیاست‌های زیست‌محیطی و ارزیابی کیفیت منابع براساس پویایی نظام‌های پیچیده زیست‌محیطی و اقتصادی بدل شده است (Odum, 1983 Odum, 1996; Brown & Ulgiati, 1997). می‌توان از تحلیل امرژی برای ارزیابی پایداری کشاورزی بهره برد. براساس تعریف، امرژی مقدار انرژی خورشیدی مورد نیاز به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم برای تولید یک کالا یا خدمت است (Odum, 2000). تحلیل امرژی می‌تواند با تبدیل انواع انرژی، منابع و خدمات به یک واحد اندازه‌گیری مشترک امژول خورشیدی[3] (sej)، تأثیر متقابل مؤلفه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را ارزیابی کند (Su et al., 2020). از آنجایی‌که بخش کشاورزی مصرف‌کننده هر دو نوع منابع محیطی و اقتصادی می‌باشد، بنابراین باید سهم هر دو منبع در ارزیابی پایداری بوم‌نظام‌ها در نظر گرفته شود (Campbell, 1998). تحلیل امرژی هر دو هزینه محیطی و اقتصادی برای رسیدن به پایداری را اندازه می‌گیرد (Chen & Chen, 2012). تحلیل اقتصادی تولید محصولات زراعی با اتکا به دیدگاه‌های بوم‌شناسی، مصرف انرژی و اقتصاد بوم‌شناختی از روش‌های مناسب برای شناخت علل افزایش یا رکود سطح زیر کشت محصولات در یک منطقه خاص است (Ahmadi & Aghaalikhani, 2012). کاربرد تلفیقی تحلیل‌های امرژی و اقتصادی می‌تواند دیدگاه جامع‌تر در مورد چشم‌اندازهای مختلف پایداری محیطی و بهره‌وری برای نظام‌های مورد بررسی را در اختیار قرار دهد (Asgharipour et al., 2019). پیوند دادن بهره‌وری فرآیندهای اقتصادی با بهره‌وری فرآیندهای اکولوژیکی به‌معنای قرار دادن بهره‌وری بر مدار توسعه پایدار و جلوگیری از بحران‌های زیست‌محیطی و مدیریت بحران‌های اقتصادی است (Fetros, 1998).

گیاهان روغنی، گیاهانی هستند که برای استخراج روغن پرورش داده می‌شوند. این گیاهان بعد از غلات مهم‌ترین محصولات زراعی محسوب می‌شوند که قابلیت کشت در اقلیم‌های مختلف را دارا

1- Energy

2- Emergy

3- Solar emjoule

می‌باشند. کشت گیاهانی همچون کلزا (*Brassica napus L.*)، گلرنگ (*Carthamus tinctorus L.*) و کنجد (*Sesamum indicum L*) هم تولید روغن خوراکی را افزایش می‌دهند و هم در تناوب قرار گرفتن با غلات اثرات مثبت باقی می‌گذارند و از همه مهم‌تر، از نظر حفظ منابع آبی جایگزین با کشت گیاهان پرآب می‌شود. بیش از ۹۰ درصد از مصرف داخلی روغن‌های خوراکی کشور به‌صورت خام یا آماده از خارج کشور وارد می‌گردد. بدین ترتیب، سهم بزرگی از منابع ارزی کشور صرف واردات دانه‌های روغنی و روغن می‌شود (Danesh-Shahraki et al., 2008). این مسئله باعث شده تا برنامه‌ریزی منسجم و بلندمدت با هدف خودکفایی تولید روغن خوراکی در کشور الزام یابد. کشت گیاهان روغنی در منطقه سیستان را می‌توان به‌عنوان محصولات جدید در نظر گرفت، زیرا تا چند سال اخیر این گیاهان مورد توجه واقع نشده بودند. اما کمبود آب و شرایط اقلیمی باعث جلب توجه مسئولین و کشاورزان به این نوع گیاهان شده است. به همین دلیل، سطح زیر کشت این محصولات تاکنون دارای ثبات نبوده است. با توجه به اهمیت فرآورده‌های حاصل از گیاهان روغنی در سبد غذایی خانواده ایرانی و نیز ضرورت افزایش تولید این گیاهان، در این مطالعه نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد با هدف ارزیابی سلامت اکولوژیکی و بهره‌وری استفاده از نهاده‌ها با استفاده از تکنیک‌های تحلیل امرژی و اقتصادی در منطقه سیستان ایران بررسی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان با وسعت تقریبی ۱۵۱۹۷ کیلومترمربع دشت پست و همواری در ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه پهنای شمالی و ۶۱ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه در ازای شرقی می‌باشد (Zia Tavana, 1992). منطقه سیستان دارای اقلیمی بسیار خشک با تابستان‌های بسیار گرم و طولانی می‌باشد. اراضی زراعی منطقه سیستان مساحتی بیش از ۱۲۰،۰۰۰ هکتار را پوشش می‌دهد که بیشتر آن اختصاص به تولید محصولات زراعی همچون گندم (*Triticum aestivum* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.)، صیفی‌جات، یونجه (*Medicago sativa* L.)، ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.)، انگور (*Vitis vinifera* L.) و محصولات گلخانه‌ای دارد (Kohkan et al., 2017). میانگین سالانه بارندگی در این منطقه ۶۰ میلی‌متر، میانگین درجه حرارت سالانه ۲۲ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی سالانه ۳۸ درصد می‌باشد (Miri et al., 2009). تبخیر و تعرق بالقوه براساس روش‌های مختلف حدود ۴۱۹۶ میلی‌متر تا ۵۷۰۰ میلی‌متر محاسبه شده است (Negaresh & Khosravi, 2000). براساس طبقه‌بندی دومارتن با شاخص خشکی ۱/۹، سیستان جزو مناطق فراخشک طبقه‌بندی می‌شود (Miri et al., 2009).

جمع‌آوری داده‌ها

تمام اطلاعات مرتبط با داده‌های مورد نیاز برای این پژوهش با استفاده از پرسش‌نامه چهره به چهره از تولیدکنندگان محصولات کلزا، گلرنگ و کنجد منطقه سیستان در سال ۱۳۹۹– ۱۴۰۰ جمع‌آوری شد. تعداد نمونه مورد نیاز در این مطالعه با استفاده از روش نیمن و براساس معادله ۱ تعیین شد (Yamane, 1967).

$$n = \frac{\sum N_h S_h}{N^2 D^2 + \sum N_h S_h^2} \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، n: اندازه نمونه مورد نیاز، N_h: تعداد تولیدکنندگان محصولات در طبقه h، S_h: انحراف استاندارد در طبقه h، S_h^2: واریانس طبقه h می‌باشد. $D^2 = d^2/z^2$ که در آن، d: دقت و z: ضریب اطمینان (۱/۹۶ که ۹۵ درصد قابلیت اطمینان را نشان می‌دهد) است.

با وجود مساحت متغیر نظام‌های مورد مطالعه به‌منظور ایجاد سهولت در محاسبات و مقایسه میان نظام‌های تولید، مقادیر نهاده‌ها و خروجی برای هر یک از نظام‌های کاشت برای مساحت یک هکتار استاندارد شدند. در تطابق با مطالعات پیشین سهم تجدیدپذیری نیروی کار در ایران ۱۰ درصد در نظر گرفته شد (Ulgiati et al., 1994; Jafari et al., 2018). آب آبیاری مزارع در منطقه از آب‌های زیرزمینی تأمین شده که از موتورهای برقی برای استخراج آن استفاده می‌شود. برای ارزیابی میزان آب مصرفی در هر نظام زراعی مدت آبیاری در کل دوره زراعی برای یک هکتار از حاصل ضرب تعداد دفعات آبیاری در مدت زمان هر آبیاری برای یک هکتار به‌دست آمد. برای محاسبه میزان الکتریسیته مصرفی توسط موتورهای برقی استخراج آب متوسط توان مصرفی موتورهای آب موجود در منطقه را که معادل با ۱۹۲/۳۰۸ کیلووات ساعت می‌باشد، در کل مدت آبیاری یک هکتار زمین زیر کشت ضرب شد (Yasini et al., 2020).

آمار و اطلاعات هواشناسی بلندمدت و انرژی تابش خورشیدی از ایستگاه‌های هواشناسی زابل و زهک به‌دست آمد. جریان انرژی

ورودی سالانه به‌شکل تأسیسات ساختاری، ساختمان‌ها، ماشین‌آلات و مواد مورد استفاده در نظام‌ها با توجه به طول عمر خدمات آن‌ها به‌دست آمد (Vassallo et al., 2007). طول عمر ماشین‌آلات ۲۵ سال و ساختمان‌ها ۴۰ سال تخمین زده شد (Jafari et al., 2018). برای ارزیابی تلفات مواد آلی، میزان مواد آلی خاک پیش از کاشت گیاهان و پس از برداشت گیاهان اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری خاک از لایه سطحی صفر تا ۲۰ سانتی‌متری از مزارع انجام گرفت. ماده‌آلی خاک به‌روش LOI در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو ساعت در کوره الکتریکی اندازه‌گیری شد (Hashemi Bani et al., 2009). فرسایش آبی با مدل RUSLE تخمین زده شد (Mohammadi et al., 2018).

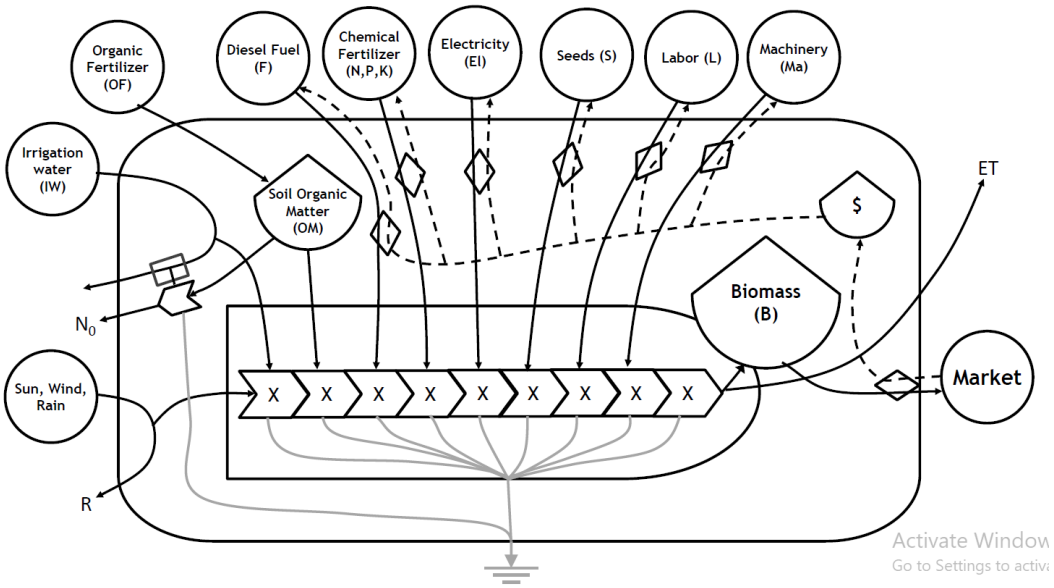
تحلیل امرژی

جزئیات فرآیند تحلیل امرژی توسط محققین مختلف ارائه شده است (Ulgiati et al., 1994; Odum, 1996; Odum, 2000). تحلیل امرژی به بهترین وجه با استفاده از معیارهای ترمودینامیکی، پویایی و عملکرد نظام‌های زیست‌محیطی را اندازه‌گیری می‌کند (Odum, 1988; Odum et al., 2000). در تحلیل امرژی تمامی ورودی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، رایگان و خریداری شده، همچنین خروجی‌های نظام شامل محصولات و خدمات به واحد مشترک امژول خورشیدی تبدیل می‌شود (Odum, 1996). اولین گام برای تحلیل امرژی تعیین مرزهای مکانی و زمانی سه نظام مورد مطالعه و ترسیم دیاگرام انرژی برای طبقه‌بندی نهاده‌های نظام‌های مورد بررسی به تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر محلی یا وارداتی است (Odum, 2000). این کار برای مدیریت روابط بین اجزای اصلی و فرآیندهای سودآور نظام ضروری بوده و هم‌چنین پایه‌های زیست‌محیطی بوم‌نظام و ارتباط آن‌ها را به نمایش می‌گذارد. در شکل ۱ و ۲ دیاگرام تجمعی جریان امرژی برای سه نظام کلزا، گلرنگ و کنجد نمایش داده شده است. نهاده‌های نظام‌های کشاورزی از دو منبع نهاده‌های محیطی و خریداری‌شده نشأت می‌گیرند. در سمت چپ دیاگرام ورودی‌های محیطی، در قسمت بالا ورودی‌های خریداری‌شده و در سمت راست خروجی‌های مفید نظام‌های تولید نشان داده می‌شود. برای تحلیل نظام‌های تولید، ورودی‌ها به چهار دسته تقسیم می‌شوند (Lu et al., 2010): منابع محیطی تجدیدپذیر[1] (R)، مانند نورخورشید، باد و باران. منابع محیطی تجدیدناپذیر[2] (N)، مانند تلفات مواد آلی خاک، فرسایش خاک و منابع مورد دستیابی برای فرآیند تشکیل خاک. منابع خریداری‌شده تجدیدپذیر[3] (F_R)، مانند بذر، کود آلی و نیروی انسانی که از خارج نظام خریداری شده‌اند؛ و منابع خریداری‌شده تجدیدناپذیر[4] (F_N)، مانند کودها و آفت‌کش‌ها، ماشین‌آلات و... می‌باشند. امرژی ماشین‌آلات با توجه به وزن فولاد به‌کار رفته، عمر اقتصادی ماشین، ساعات کار ماشین‌آلات در سال در نظر گرفته شد (Asgharipour et al., 2019). برای محاسبه امرژی بذر مصرفی از ضریب امرژی به‌ازای واحد پول استفاده شد (Amiri et al., 2021). پس از محاسبه همه جریان‌های ورودی[5] (U) و خروجی[6] (Y)، اطلاعات خام برای هرکدام از نظام‌های تولید، برحسب ژول، گرم یا ریال با توجه به شرایط ایران در ارزش واحد امرژی آن‌ها ضرب شد(Asgharipour et al., 2020(Amiri et al., 2019) دومین گام برای تحلیل امرژی، ترسیم جداول ارزیابی امرژی است.

در تحلیل امرژی از شاخص‌های امرژی برای ارزیابی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی استفاده شد (Lu et al., 2010). در این مطالعه، ضریب تبدیل[7] (Tr)، درصد تجدیدپذیری امرژی[8] (R٪)، نسبت عملکرد امرژی[9] (EYR)، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی[10] (EIR) و نسخه اصلاح شده آن[11] (EIR*)، نسبت بار زیست‌محیطی[12] (ELR) و نسخه اصلاح شده[13] آن (ELR*)، شاخص پایداری محیط زیست[14] (ESI) و نسخه اصلاح‌شده[15] آن (ESI*)، کسر مبادله امرژی[16] (EER) و شاخص امرژی سلامت تولید[17] (EIPS) استفاده شد. فرمول و روش محاسبه این شاخص‌ها در جدول ۱ توصیف شده است (Asgharipour et al., 2020).

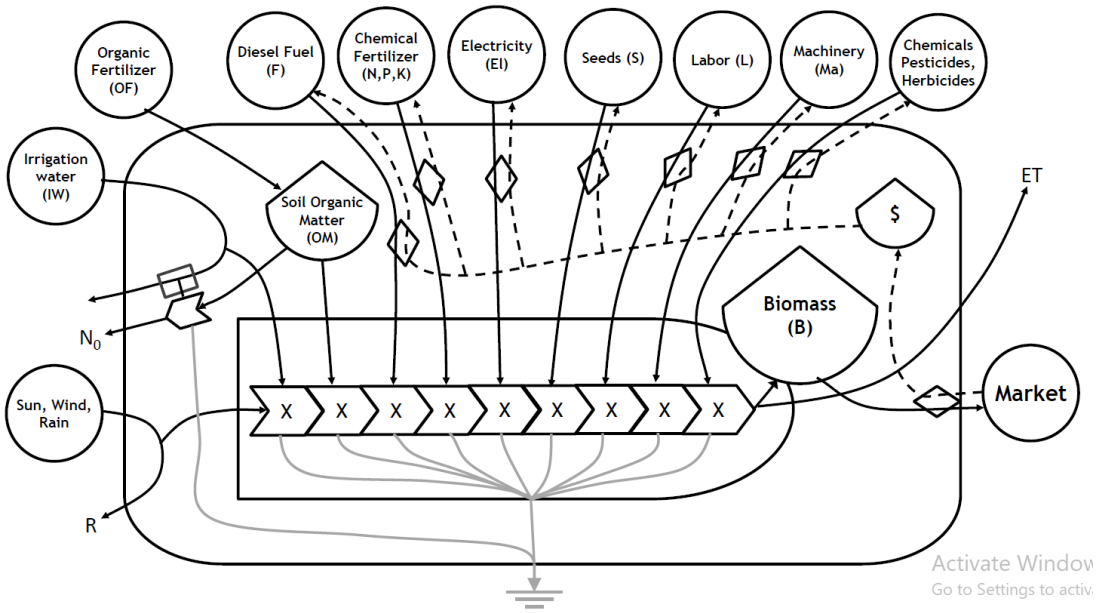
1- Environmental renewable inputs

2- Environmental renewable inputs
3- Purchased non-renewable inputs
4- Purchased non-renewable inputs
5- Inputs
6- Outouts
7- Transformity
8- Renewable Emergy Ratio
9- Emergy Yield Ratio
10- Emergy Investment Ratio
11- Modified Emergy Investment Ratio
12- Environmental Loading Ratio
13- Modified Environmental Loading Ratio
14- Emergy Sustainability Index
15- Modified Emergy Sustainability Index
16- Emergy Exchange Ratio
17- Emergy index of product safety



شکل ۱- دیاگرام جریان امرژی بوم‌نظام‌های تولید کنجد در منطقه سیستان

Fig. 1- Emergy flow diagrams of sesame production ecosystems in Sistan region



شکل ۲- دیاگرام جریان امرژی بوم‌نظام‌های تولید کلزا و گلرنگ در منطقه سیستان

Fig. 2- Emergy flow diagrams of rapeseed and safflower production ecosystems in Sistan region

تحلیل اقتصادی

ورودی‌ها و خروجی‌های نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد با استفاده از روش‌های تحلیل اقتصادی متعارف مورد ارزیابی قرار گرفت. برای سهولت در محاسبه مانند تحلیل امرژی بازه زمانی یک ساله برای تحلیل اقتصادی در نظر گرفته شد. به‌منظور تحلیل شرایط

اقتصادی نظام‌های مورد بررسی، برخی از شاخص‌های اقتصادی شامل درآمد ناخالص، درآمد خالص، کل هزینه‌های تولید، نسبت سود به هزینه و بهره‌وری تولید کلزا، گلرنگ و کنجد براساس معادله‌های ۲ تا ۵ محاسبه شد (Asgharipour et al., 2019).

جدول ۱- مشخصات و فرمول شاخص‌های مبتنی بر امرژی مورد استفاده برای ارزیابی نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد در منطقه سیستان

Table 1- Specifications and formulas of the emergy-based indicators used to evaluate rapeseed, safflower and sesame production systems in Sistan

شاخص Index	فرمول Formula	خصوصیات Specifications	منبع Reference
ورودی‌های تجدیدپذیر از منابع رایگان Renewable inputs from free local resources	R	جریان‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental flows	طبق تعریف By definition
ورودی‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs	N	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع محلی رایگان Non-renewable environmental flows	طبق تعریف By definition
ورودی‌های بازاری تجدیدپذیر Renewable purchased inputs	F_R	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع بازاری Renewable flows from purchased resources	طبق تعریف By definition
ورودی‌های بازاری تجدیدناپذیر Non-renewable purchased inputs	F_N	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع بازاری Non-renewable purchased flows	طبق تعریف By definition
ضریب تبدیل Transformity	Tr = U / AE	مقدار امرژی موردنیاز برای تولید یک واحد خروجی برحسب ژول، AE محتوای انرژی محصول است. Amount of emergy required to produce an output unit in joules. AE is the energy content.	Brown & Ulgiati (2004)
امرژی ویژه Special emargy	SE = U / PW	مقدار امرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی بر حسب گرم است. Amount of emergy required to produce an output unit in grams. AE is the energy content.	Brown & Ulgiati (2004)
درصد تجدیدپذیری امرژی Renewable emergy ratio	$\%R = R+F_R / U\times100$	درصد امرژی تجدیدپذیر استفاده شده توسط نظام تولیدی می‌باشد. Percentage of the renewable energy used by the system	Odum (2000)
نسبت عملکرد امرژی Emergy yield ratio	$EYR = U / F_N+F_R$	مقیاس استفاده از منابع محیطی با سرمایه‌گذاری در منابع اقتصادی است. Ability of a process to use renewable and nonrenewable environmental resources with economic resources as a capital	Odum (2000)
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی Emergy investment ratio	$EIR = F_R+F_N/R$	نسبت منابع انرژی خریداری‌شده از خارج به کل انرژی محیطی رایگان در نظام می‌باشد. EIR is the ratio of emergy resources purchased from outside to all free environmental emergy in the system.	Brown & Ulgiati (2004)
نسخه اصلاح شده نسبت سرمایه‌گذاری امرژی Modified emergy investment ratio	$EIR^* = F_N+F_R /R$	میزان مطابقت سرمایه‌گذاری خارج در تولید محصول نسبت به منابع محیطی تجدیدپذیر رایگان است. The adaptation rate of investment in product production is compared with environmental resources received for free.	Amiri et al. (2019)
نسبت بار زیست‌محیطی Environmental loading ratio	$ELR = N+F_N / R+F_R$	فشار محیطی ایجاد شده توسط یک نظام تولیدی است. Environmental pressure produced by a process	Lu et al. (2014)
نسخه اصلاح شده نسبت بار زیست‌محیطی Modified environmental loading ratio	$ELR^* =F_N+N / R+F_R$	مقیاس اندازه‌گیری پایداری An inverse measure of sustainability	Lu et al. (2014)
شاخص پایداری محیط زیست Emergy sustainability index	ESI = EYR / ELR	وابستگی خروجی نظام به محیط، هرچه این مقدار بیشتر باشد، پایداری نظام قوی‌تر است. The dependence of the system output on the environment, the greater the value, the stronger the sustainability of the system	Lu et al. (2014)
نسخه اصلاح شده شاخص پایداری محیط زیست Modified emergy sustainability index	ESI* = ELR* EYR/	شاخص پایداری متناوب که بر استفاده از منابع تجدیدپذیر توام با حداقل فشار وارده بر محیط زیست متمرکز است. Alternate sustainability index that focuses on the use of renewable resources with minimal pressure on the environment.	Lu et al. (2014)
کسر مبادله امرژی Emergy exchange ratio	EER = U/YM	خروجی اقتصادی (عملکرد نظام) مبادله شده با پول در بازار (YM) تقسیم بر کل امرژی ورودی نظام (U). Economic output (a system yield) traded with money in the market (YM) on total emergy input rate (U).	Odum (1996)
شاخص امرژی سلامت تولید Emergy index of product safety	$EIPS=1 - [C/ (F_N + F_R)]$	این شاخص اثر کود شیمیایی، سموم دفع آفات و علف‌کش‌ها را بر ایمنی محصول ارزیابی می‌نماید It assesses the effect of chemical fertilizer, pesticide and herbicide use on product safety	Xi & Qin (2009)

معادله (۲) $NR=GVP-TCP$

معادله (۳) $GVP= CY\times CP$

معادله (۴) $TCP= VCP-FCP$

معادله (۵) $B\ to\ C= GVP/TCP$

که در آن، NR: درآمد خالص (میلیون تومان در هکتار)، GVP: ارزش ناخالص تولید (میلیون تومان در هکتار)، TCP: هزینه‌های تولید (میلیون تومان در هکتار)، CY: عملکرد محصول زراعی (کیلوگرم در هکتار)، CP: قیمت محصول (تومان در کیلوگرم) و B to C: نسبت سود به هزینه است.

جریان‌های منابع طبیعی و نهاده‌های خریداری شده برای نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد در جدول ۲ فهرست شده است. تمام ورودی‌های ارائه شده در این جدول از طریق ضرب شدن در ضرایب مربوط به امژول خورشیدی در هکتار در سال تبدیل شده‌اند. علاوه‌براین نهاده‌های ورودی بر طبق نسبت‌های تجدیدپذیری به دو بخش تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم شده است.

نتایج و بحث

جدول ۲- جریان‌های ورودی از منابع طبیعی و اقتصادی در نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد منطقه سیستان

Table 2- Natural and economic flows of rapeseed, safflower and sesame production systems in Sistan region

	واحد Unit	کلزا Rapeseed	گلرنگ Safflower	کنجد Sesame
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs				
انرژی خورشیدی Solar energy	ژول J	2.98E+13	2.76E+13	2.89E+13
انرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy	ژول J	5.39E+11	5.19E+11	8.77E+10
انرژی شیمیایی باران Rain, chemical	ژول J	1.09E+09	1.09E+09	
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	ژول J	8.06E+08	8.06E+08	
ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs				
آب زیرزمینی Groundwater	ژول J	9.15E+10	8.37E+10	5.20E+10
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	ژول J	7.40E+10	6.77E+10	4.20E+10
تلفات ماده آلی و خاک SOM reduction	ژول J	4.75E+10	4.75E+10	4.75E+10
فرسایش خاک Soil erosion	گرم g	2.88E+07	1.23E+07	1.13E+07
نهاده‌های خریداری شده Purchased inputs				
نیروی کارگری Human labor	ژول J	4.98E+08	4.02E+08	6.08E+08
ماشین‌آلات Machinery	گرم g	7.77E+03	7.77E+03	2.39E+03
روغن و سوخت فسیلی Fossil fuel and lubricant	گرم g	1.21E+10	5.21E+09	3.78E+09
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	گرم g	1.50E+05	1.25E+05	7.50E+04

کود فسفر Phosphorus fertilizer	گرم g	7.50E+04	6.50E+04	4.00E+04
کود پتاس Potash fertilizer	گرم g	5.00E+04	3.50E+04	0.00E+00
کود میکرو Micro fertilizer	گرم g	2.50E+03	2.00E+03	1.00E+03
کود آلی Organic fertilizer	گرم g	4.00E+06	3.50E+06	3.00E+04
آفت‌کش Pesticide	گرم g	1.00E+03	6.00E+03	0.00E+00
الکتریسیته Electricity	ژول J	3.60E+09	1.17E+09	6.30E+08
بذر Seed	ریال Rials	3.50E+06	2.40E+06	1.45E+06
خروجی Output				
عملکرد اقتصادی Economic yield	گرم g	7.50E+05	8.60E+05	5.50E+05
عملکرد اقتصادی Economic yield	ژول J	1.88E+10	1.26E+10	1.43E+10

ورودی‌های امرژی کل یا امرژی کل حمایت‌کننده نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد در منطقه سیستان برای سه گیاه مورد تحقیق به‌ترتیب ۷/۲۸×۱۰^۱۶، ۴/۷۵×۱۰^۱۶ و ۳/۵۵×۱۰^۱۶ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود. امرژی کل برای نظام تولید کلزا بیش‌تر از دو نظام گلرنگ و کنجد بود که دلیل آن مصرف بیش‌تر ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی است. بالاترین مقدار امرژی ورودی در نظام تولید کلزا به تلفات فرسایشی خاک با مقدار ۳/۶۶×۱۰^۱۶ امژول خورشیدی در هکتار در سال (سهم ۵۰/۲۵ درصدی) و الکتریسیته با مقدار ۸/۳۲×۱۰^۱۴ امژول خورشیدی در هکتار در سال (سهم ۱/۱۴درصدی) بود. نهاده‌های امرژی ورودی در نظام‌های تولید گیاهان روغنی (کلزا، گلرنک و کنجد) در منطقه سیستان به نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر (R)، نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر (N)، نهاده‌های خریداری شده تجدیدناپذیر (F_N) و نهاده‌های خریداری شده تجدیدپذیر (F_R) تقسیم شدند.

جدول ۳- تحلیل امرژی و ساختار ورودی در نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد منطقه سیستان ($set.ha^{-1}$)

Table 3- Emergency analysis and input structure in rapeseed, safflower and sesame production systems in Sistan region

موارد Items	امرژی/واحد Emergy/unit	کلزا Rapeseed		گلرنگ Safflower		کنجد Sesame	
		امرژی Emergy	درصد %	امرژی Emergy	درصد %	امرژی Emergy	درصد %
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs							
انرژی خورشیدی Solar energy	1.00E+00	2.98E+13	0.04%	2.76E+13	0.06%	2.89E+13	0.08%
انرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy	1.25E+03	6.74E+14	0.93%	6.49E+14	1.36%	1.10E+14	0.31%
انرژی شیمیایی باران Rain, chemical	2.25E+04	2.45E+13		2.45E+13		0.00E+00	
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	2.88E+04	2.32E+13		2.32E+13		0.00E+00	
جمع Subtotal		7.04E+14	0.97%	6.76E+14	1.42%	1.39E+14	0.39%
ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs							

آب زیرزمینی Groundwater	1.92E+05	1.76E+16	24.13%	1.61E+16	33.80%	9.98E+15	28.10%
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	2.88E+04	2.13E+15	2.93%	1.95E+15	4.10%	1.21E+15	3.40%
تلفات مواد آلی خاک SOM reduction	9.36E+04	4.45E+15	6.11%	4.45E+15	9.35%	4.45E+15	12.51%
فرسایش خاک Soil erosion	1.27E+09	3.66E+16	50.25%	1.56E+16	32.85%	1.44E+16	40.39%
جمع Subtotal		6.07E+16	83.42%	3.81E+16	80.11%	3.00E+16	84.41%
خروجی Purchased inputs							
نیروی کارگری Human labor	2.22E+06	1.11E+15	1.52%	8.92E+14	1.88%	1.35E+15	3.80%
ماشین‌آلات Machinery	1.01E+10	7.85E+13	0.11%	7.85E+13	0.17%	2.41E+13	0.07%
روغن و سوخت فسیلی Fossil fuel and lubricant	8.60E+04	1.04E+15	1.43%	4.48E+14	0.94%	3.25E+14	0.91%
کود نیتروژن N fertilizer	3.09E+10	4.64E+15	6.37%	3.86E+15	8.12%	2.32E+15	6.52%
کود فسفر P fertilizer	2.82E+10	2.12E+15	2.91%	1.83E+15	3.86%	1.13E+15	3.17%
کود پتاس K fertilizer	2.23E+09	1.12E+14	0.15%	7.81E+13	0.16%	0.00E+00	0.00%
کود میکرو Micro fertilizer	3.91E+09	9.78E+12	0.01%	7.82E+12	0.02%	3.91E+12	0.01%
کود آلی Organic fertilizer	2.96E+08	1.18E+15		1.04E+15		8.88E+12	
آفت‌کش Pesticide	1.89E+10	1.89E+13	0.03%	1.13E+14	0.24%	0.00E+00	0.00%
الکتریسیته Electricity	2.31E+05	8.32E+14	1.14%	2.70E+14	0.57%	1.46E+14	0.41%
بذر Seed	6.76E+07	2.37E+14	0.50%	1.62E+14	0.34%	9.80E+13	0.28%
جمع Subtotal		1.14E+16	15.62%	8.78E+15	18.47%	5.40E+15	15.20%
جمع کل Total		7.28E+16	100.00%	4.75E+16	100.00%	3.55E+16	100.00%

ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر (R)

منابع محیطی تجدیدپذیر شامل نورخورشید، انرژی باد، انرژی شیمیایی باران و انرژی تبخیر و تعرق می‌باشد. در این مطالعه، بزرگ‌ترین ورودی رایگان محیطی در هر سه نظام تولیدی مورد مطالعه، انرژی باد بود. از آنجا که ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر، همه از انرژی خورشیدی منشعب می‌شود و به‌منظور اجتناب از ارزیابی مضاعف مجموع انرژی خورشید که در فتوسنتز گیاهان استفاده می‌شود و بزرگ‌ترین جزء ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر معادل کل این ورودی‌ها در نظر گرفته شد. جریان انرژی تجدیدپذیر رایگان محیطی برای نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد در این مطالعه به‌ترتیب $۷/۰۴\times۱۰^{۱۴}$، $۶/۷۶\times۱۰^{۱۴}$ و $۱/۳۹\times۱۰^{۱۴}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود. علت اصلی تفاوت سه بوم‌نظام مورد مطالعه در مقادیر جریان محیطی تجدیدپذیر، تفاوت در انرژی باد دریافتی بود. این نهاده‌ها برای نظام‌های کلزا، گلرنگ و کنجد به‌ترتیب ۰/۹۷ درصد، ۱/۴۲ درصد و ۰/۳۹ درصد از کل امرژی‌های ورودی به نظام محاسبه گردیدند. بنابراین، سهم این ورودی از ورودی امرژی کل در نظام تولید گلرنگ بیش‌تر از دو نظام تولید کلزا و کنجد بوده است (جدول ۳). میزان نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر برای نظام‌های تولید گندم، پیاز (*Allium cepa* L.) و سیر (*Allium sativum* L.) در منطقه سیستان معادل ۴/۴۵ درصد برای گندم، ۴/۳۶ درصد برای پیاز و ۲/۹۱ درصد برای سیر از کل امرژی‌های ورودی محاسبه گردید (Yasini et al., 2020). میزان این نهاده برای نظام تولیدی برنج (*Oryza sativa* L.) در چین $۱/۸۲\times۱۰^{۱۵}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال برآورد شد (Su et al., 2020).

ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر (N)

در این تحقیق، ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر شامل آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق، تلفات ماده‌آلی خاک و فرسایش خاک می‌باشد. سهم ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر از ورودی امرژی کل در نظام‌های تولید کلزا ۸۳/۴۲ درصد، گلرنگ ۸۰/۱۱ درصد و کنجد ۸۴/۴۱ درصد به‌دست آمد (جدول ۳). بالا بودن سهم تمامی ورودی‌های تجدیدناپذیر در این مطالعه برای هر سه نظام تولیدی کلزا، گلرنگ و کنجد، نشان‌دهنده ماهیت شکننده نظام‌های کشت بوم‌های سیستان به‌دلیل کمبود آشکار آب، فرسایش شدید خاک و آلودگی زمین‌های کشاورزی است. بالا بودن این ورودی‌ها در کنجد نسبت به دو نظام دیگر به‌دلیل هدررفت بیش‌تر مواد آلی خاک نسبت به نظام‌های کلزا و گلرنگ است. هم‌چنین سهم فرسایش خاک از کل امرژی‌های ورودی نیز به‌عنوان چهارمین ورودی محیطی تجدیدناپذیر در تمام نظام‌های مورد مطالعه به‌ترتیب در نظام‌های کلزا ۵۰/۲۵ درصد، گلرنگ ۳۲/۸۵ درصد و برای کنجد ۴۰/۳۹ درصد می‌باشد. بالا بودن میزان تلفات مواد آلی خاک، فرسایش خاک و مصرف آب زیرزمینی بیان‌کننده این حقیقت است که تولید محصولات کشاورزی، اثرات و هزینه‌های شدید زیست‌محیطی را در منطقه سیستان به دنبال دارند، این ضعف به دنبال نبود مدیریت مصرف بهینه آب و مصرف بالای کودهای شیمیایی می‌باشد که سبب از بین رفتن مواد آلی خاک و هم‌چنین، ایجاد شرایط نابسامان محیطی در این منطقه می‌باشد که فرسایش خاک را نیز تشدید کرده است.

ورودی‌های خریداری شده (F_N و F_R)

ورودی‌های خریداری شده به نظام‌های مورد مطالعه شامل نیروی کارگری، ماشین‌آلات، سوخت فسیلی و روغن موتور، کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفر، پتاس و میکرو)، کود آلی، آفت‌کش‌ها، الکتریسیته و بذر مصرفی هستند. مقدار کل این ورودی‌ها برای نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد به‌ترتیب برابر $۱/۱۴\times۱۰^{۱۶}$، $۸/۷۸\times۱۰^{۱۵}$ و $۵/۴۰\times۱۰^{۱۵}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال برآورد شد. سهم ورودی‌های بازاری از ورودی امرژی کل برای کلزا ۱۵/۶۲ درصد، گلرنگ ۱۸/۴۷ درصد و برای کنجد ۱۵/۲۰ درصد است (جدول ۳). بالاترین سهم از ورودی‌های خریداری‌شده در هر سه نظام کلزا، گلرنگ و کنجد مرتبط با کودهای شیمیایی نیتروژن (کلزا ۶/۳۷ درصد، گلرنگ ۸/۱۲ درصد و کنجد ۶/۵۲ درصد) و فسفر (کلزا ۲/۹۱ درصد، گلرنگ ۳/۸۶ درصد و کنجد ۳/۱۷ درصد) بود. بنابراین، کاهش مصرف این ورودی‌ها (تجدیدناپذیر) تا حد امکان در کاهش سهم ورودی خریداری شده در این نظام‌ها مفید می‌باشد. سهم سایر ورودی‌های خریداری شده برای هر سه نظام بسیار پایین بوده، به‌طوری‌که برخی از این ورودی‌ها از کل امرژی‌های ورودی برابر صفر یا بسیار نزدیک به صفر بود.

در سایر مطالعات نیز نشان داده شده است که کودهای شیمیایی سهم عمده‌ای در کل ورودی امرژی یک سیستم کشت دارند. کودهای نیتروژن، فسفر و پتاس ۹۷ درصد از منابع خریداری شده غیر قابل تجدید در زراعت گندم (Hoshyar et al., 2018)، و تناوب گندم/لوپن (Lefroy & Rydberg, 2003) را به خود اختصاص داده بودند. هم‌چنین کود نیتروژن و نیروی کارگری بیش‌ترین سهم ورودی امرژی را در تولید گندم داشتند (Zhang et al., 2012).

تجزیه و تحلیل شاخص‌های مبتنی بر امرژی

شاخص‌های مبتنی بر امرژی برای تعیین میزان کارایی استفاده از نهاده‌ها، فشردگی، تجدیدپذیری و فشار محیطی از سوی یک نظام تولید به محیط به‌کار گرفته می‌شوند (Brown & Ulgiati, 1997; Brown & Ulgiati, 2004; Wang et al., 2014). مقادیر شاخص‌های مبتنی بر امرژی برای نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد در جدول ۴ ارائه شده است.

ضریب تبدیل (Tr) و امرژی ویژه (SpE)

ضریب تبدیل و امرژی ویژه معیارهایی از سودمندی یک فرآیند تولیدی می‌باشد. پایین‌تر بودن این شاخص‌ها به معنی عملکرد و بهره‌وری بیش‌تر فرآیند تولید در رقابت محیطی و اقتصادی در بلندمدت است (Odum, 2000). مقدار ضریب تبدیل برای نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد در منطقه سیستان به‌ترتیب $۳/۸۸\times۱۰^{۶}$، $۳/۷۶\times۱۰^{۶}$ و $۲/۴۸\times۱۰^{۶}$ امژول خورشیدی بر ژول محاسبه شد (جدول ۴). هم‌چنین شاخص امرژی ویژه برای نظام‌های تولید کلزا $۹/۷۱\times۱۰^{۱۰}$، گلرنگ $۵/۵۳\times۱۰^{۱۰}$ و کنجد $۶/۴۶\times۱۰^{۱۰}$ امژول خورشیدی بر گرم به‌دست آمد (جدول ۴). کارایی پایین‌تر استفاده از نهاده‌ها در نظام تولید کلزا نسبت به دو نظام گلرنگ و کنجد به‌دلیل ضریب تبدیل و امرژی ویژه بالاتر این نظام بود. میزان این شاخص برای تولید دو نظام تجاری و معیشتی تولید کلزا در استان لرستان به‌ترتیب $۳/۰۸\times۱۰^{۵}$ و $۹/۴۸\times۱۰^{۵}$ امژول خورشیدی بر ژول گزارش

گردید (Amiri et al. 2019,). مقدار ضریب تبدیل در نظام تولید گندم در مزارع با مقیاس بزرگ در شمال چین $۱/۶۳×۱۰^{۵}$ محاسبه شد (Wang et al., 2014). ضریب تبدیل برای نظام‌های تولید خرما (Phoenix dactylifera *L.*) و پسته (*Pistacia vera* L.) در نهبندان ایران به‌ترتیب $۱/۷۱×۱۰^{۹}$ و $۱/۴۷×۱۰^{۹}$ امژول خورشیدی بر ژول و امرژی ویژه نیز برای نظام‌های تولید خرما $۱/۳۷×۱۰^{۱۰}$ و برای پسته $۲/۰۲×۱۰^{۱۰}$ امژول خورشیدی بر گرم محاسبه شد (Jafari et al., 2018).

نسبت تجدیدپذیری امرژی (%R)

شاخص نسبت تجدیدپذیری امرژی، میزان اتکای هر نظام به انرژی‌های تجدیدپذیر را بیان می‌کند (Su et al., 2020). نظام‌های تولید با سهم بالاتر منابع تجدیدپذیر نسبت به نظام‌های با مصرف بیش‌تر ورودی‌های تجدیدناپذیر در رقابت اقتصادی، شانس موفقیت و پایداری بالاتری را دارا هستند، زیرا منابع تجدیدناپذیر با گذشت زمان کمیاب‌تر می‌شوند (Asgharipour et al., 2019). میزان وابستگی به نهاده‌های تجدیدپذیر نظام‌های تولید کلزا ۱/۵۸ درصد، گلرنگ ۲/۱۴ درصد و کنجد ۰/۸۵ درصد محاسبه شد (جدول ۴). بین سه نظام مورد تحقیق، کلزا و کنجد با مصرف کم‌تر نهاده‌های امرژی تجدیدپذیر ناپایدارتر بودند، درحالی‌که نظام تولید گلرنگ با وابستگی کم‌تر به نهاده‌های امرژی تجدیدناپذیر پایدارتر می‌باشد. به زبان ساده‌تر می‌توان چنین گفت که بیش‌ترین تجدیدپذیری بین نظام‌های تولید مربوط به گلرنگ بود که دلیل آن سهم بیش‌تر منابع تجدیدپذیر محیطی از کل ورودی امرژی (۱/۴۲درصد) و وابستگی کم‌تر به منابع تجدیدناپذیر محیطی در این نظام است. در نتیجه، در منطقه سیستان پایداری نظام گلرنگ بیش‌تر از دو نظام دیگر است.

جدول ٤- شاخص‌های مبتنی بر امرژی در در نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد منطقه سیستان

Table 4- Emergy-based indices of the production systems of rapeseed, safflower and sesame in the Sistan region

	کلزا Rapeseed	گلرنگ Safflower	کنجد Sesame
ضریب تبدیل Transformity	3.88E+06	3.76E+06	2.48E+06
امرژی ویژه Specific emergy	9.71E+10	5.53E+10	6.46E+10
درصد تجدیدپذیری R%	1.58%	2.14%	0.85%
نسبت عملکرد امرژی EYR	6.404	5.414	6.579
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی EIR	0.185	0.227	0.179
اصلاح شده EIR*	16.157	12.985	38.988
نسبت بار زیست‌محیطی ELR	102.46	69.30	255.49
اصلاح شده ELR*	62.137	45.671	116.796
شاخص پایداری محیط زیست ESI	0.062	0.078	0.026
اصلاح شده ESI*	0.103	0.119	0.056
کسر مبادله امرژی EER	12.936	8.178	1.470
شاخص امرژی سلامت تولید EIPS	0.3938	0.3288	0.3613

درصد تجدیدپذیری نظام تولید انگور یاقوتی (*Vitis vinifera* L.) در سیستان برابر با ۶۴/۹۴ به‌دست آمد (Kohkan et al., 2017).

مقادیر درصد تجدیدپذیری امرژی برای نظام‌های مکانیزه، سنتی، حفاظتی و رویشگاه طبیعی تولید موسیر (*Allium cepa*, variety aggregatum) به‌ترتیب ۱۸/۶۰، ۲۶/۳۰، ۲۵/۳۰، و ۱۶/۳۰ درصد به‌دست آمد (Amiri et al., 2021). هم‌چنین این شاخص برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در سیستان به‌ترتیب ۴/۸، ۱۱/۶، و ۱۲/۵ درصد گزارش شد (Yasini et al., 2020). درصد تجدیدپذیری در مزارع ذرت چین نیز ۲۷ درصد به‌دست آمد (Zhang et al., 2012).

نسبت عملکرد امرژی (EYR)

نسبت عملکرد امرژی (EYR) از حاصل تقسیم کل امرژی ورودی بر ورودی‌های خریداری شده امرژی محاسبه می‌شود. مقدار بالاتر این شاخص بیانگر بازگشت بیش‌تر امرژی در مقابل امرژی سرمایه‌گذاری شده است (Chen et al., 2006). این شاخص به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان معیاری برای نمایان کردن توانایی یک فرآیند برای جذب منابع تجدیدپذیر و غیرقابل‌تجدید محیطی با سرمایه‌گذاری روی منابع اقتصادی استفاده می‌شود (Odum, 1996). برای EYR بالاتر نسبت بیش‌تری از منابع رایگان امرژی در فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرد (Brown & Ulgiati, 2005Odum, 2000;). نسبت عملکرد امرژی در این تحقیق برای سه نظام تولید کلزا، گلرنگ و کنجد به‌ترتیب معادل ۶/۴۰۴، ۵/۴۱۴ و ۶/۵۷۹ محاسبه شد (جدول ۴). طبق بررسی‌های انجام شده، نظام تولید گلرنگ EYR پایین‌تری نسبت به دو نظام کلزا و کنجد نشان می‌دهد. دلیل EYR بالاتر در نظام‌های تولیدی کلزا و کنجد، استفاده بیش‌تر از منابع امرژی تجدیدناپذیر نسبت به نظام گلرنگ می‌باشد. در تحلیل امرژی نظام‌های مختلف، شاخص EYR به‌عنوان یکی از شاخص‌های اصلی شناخته می‌شود (Amiri et al., 2021). مقادیر EYR برای نظام‌های گلخانه‌ای تولید خیار (*Cucumus sativus* L.)، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) و بادمجان (*Solanum melongena* L.) شهرستان جیرفت، را به‌ترتیب ۱/۰۲۵، ۱/۰۱۵، ۱/۰۱۴، و۱/۰۱۲ به‌دست آمد (Asgharipour et al., 2020). در این مطالعه، مقدار EYR در نظام تولید خیار بیش‌تر از سه نظام دیگر مورد مطالعه بود. مقایسه EYR چهار نظام سبزیجات مورد مطالعه، حاکی از وابستگی زیاد این نظام‌ها به منابع خریداری شده در مقایسه با منابع رایگان محیطی است. طبق بررسی‌های صورت گرفته، مقادیر EYR برای محصول انگور در جنوب چین ۱/۰۷ به‌دست آمد (Feng et al., 2013). برای نظام‌های تولید برنج و سبزیجات این شاخص به‌ترتیب ۱/۱۵ و ۱/۰۵ گزارش شد (Lu et al., 2010). برای ذرت در شمال چین، مقدار این شاخص ۱/۲۰ محاسبه شد (Zhang et al., 2012). EYR در محصولات باغی موز (Musa sp.)، پاپایا (*Carica papaya*)، گواوا (*Psidium guajava*)، و وامپی (*Clausena lansium*) به‌ترتیب ۱/۰۴، ۱/۱۶، ۱/۳۱، و ۱/۳۰ محاسبه گردید (Lu et al., 2009).

نسبت سرمایه‌گذاری استاندارد (EIR) و اصلاح شده (EIR*)

نسبت‌های سرمایه‌گذاری امرژی شدت سرمایه‌گذاری، توسعه اقتصادی و دسترسی به منابع رایگان فراهم شده از منابع محیط و میزان وابستگی نظام کشاورزی به محیط را نشان می‌دهد. به عبارتی، مقدار پایین‌تر نسبت‌های سرمایه‌گذاری امرژی بیان‌کننده وابستگی بیش‌تر نظام به منابع محیطی و هزینه‌های اقتصادی کم‌تر و وابستگی بیش‌تر خروجی نظام به منابع محیطی است (Odum, 2000). هم‌چنین این شاخص‌ها نمایانگر سرمایه اقتصادی مصرف شده در نظام تولیدی بوده و به همین سبب، مقدار بیش‌تر آن نشان‌دهنده سهم بیش‌تر منابع خریداری شده می‌باشد (Kohkan et al., 2017). نسبت EIR* نیز از نسبت ورودی‌های خریداری شده به ورودی‌های تجدیدپذیر محیطی حاصل می‌گردد. بنابراین، جهت مقایسه هزینه‌های تولیدی و قدرت رقابت اصولی‌تر در بازار پیشنهاد می‌شود (Amiri et al., 2019). در واقع، EIR و EIR* بیان می‌کنند که در هر نظام تولید، نسبت سرمایه‌گذاری نهاده‌های خریداری شده به ورودی‌های رایگان و تجدیدپذیر محیطی چه مقدار است (Odum 1996; Lan et al., 2002; Amiri et al., 2019).

EIR در سه نظام کلزا، گلرنگ و کنجد برابر ۰/۱۸۵، ۰/۲۲۷ و ۰/۱۷۹ محاسبه شد (جدول ۴). بالا بودن EIR در نظام تولید گلرنگ نشان‌دهنده سطح بالاتر توسعه اقتصادی در این نظام می‌باشد و دلیل آن مربوط به استفاده بیش‌تر ورودی‌های بازاری از جمله کود نیتروژن و آفت‌کش‌ها است. بنابراین، با کاهش میزان ورودی‌های بازاری در نظام تولید گلرنگ می‌توان این شاخص را کاهش و کارایی تولید را بهبود بخشید. هم‌چنین پایین‌ترین مقدار EIR به نظام تولید کنجد

مربوط بود که نشان‌دهنده کارایی اقتصادی بالاتر این نظام در مقایسه با نظام‌های گلرنگ و کلزا است. مقادیر *EIR برای کلزا ۱۶/۱۵۷، گلرنگ ۱۲/۹۸۵، و کنجد ۳۸/۹۸۸ محاسبه گردید (جدول۴). با وجود اینکه تولید گلرنگ بیش‌ترین سهم امرژی را از منابع بازاری در بین سه نظام مورد مطالعه دارا می‌باشد، کم‌ترین *EIR در آن مشاهده شد. بنابراین، براساس شاخص *EIR می‌توان این‌گونه اظهار کرد که نظام گلرنگ، سودمندی بیش‌تری نسبت به دو نظام دیگر دارد. کلزا و کنجد نیز در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

میزان EIR برای نظام‌های تولید کلزا در واحدهای تجاری و سنتی به‌ترتیب ۰/۷۶ و ۱/۸۶ و مقادیر به‌دست‌آمده *EIR در نظام تجاری و سنتی به‌ترتیب ۹/۰۰ و ۸/۹۴ بود (Amiri et al., 2019). هم‌چنین مقادیر EIR برای نظام‌های تولید مکانیزه، سنتی، حفاظتی، و رویشگاه طبیعی به‌ترتیب ۷/۷۲۱، ۱۲/۶۶۵، ۲۳/۲۲۳، و ۰/۷۸۵ و مقادیر *EIR برای نظام‌های تولید مکانیزه ۲۱/۸۷۲، سنتی ۲۵/۳۰۸، حفاظتی ۴۰/۹۳۲ و رویشگاه طبیعی ۳/۷۰۸ گزارش شد (Amiri et al., 2021).

نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و اصلاح شده (*ELR)

نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و نسبت بار محیط زیستی اصلاح شده (*ELR) مقدار فشار وارد شده بر محیط زیست را محاسبه می‌نماید و نشان‌دهنده مقدار استفاده‌ی نظام از خدمات محیط زیست می‌باشد. ELR از طریق سنجش نسبت ورودی‌های امرژی تجدیدناپذیر محیطی و خریداری شده و ورودی‌های تجدیدپذیر خریداری شده بر نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر و *ELR با ارزیابی نسبت منابع تجدیدناپذیر به منابع تجدیدپذیر محاسبه می‌گردد (Ortega et al., 2002). به‌طور کلی، ELRهای پایین‌تر از دو بیانگر فشار محیطی نسبتاً کم، ELR بین ۲ و ۱۰ بیانگر فشار محیطی متوسط و ELR بیش از ۱۰ نشانه تنش بالای محیطی می‌باشد (Cavalett et al., 2006Brown & Ulgiati, 2004;). در منطقه سیستان مقادیر ELR برای نظام‌های تولید کلزا ۱۰۲/۴۶، گلرنگ ۶۹/۳۰ ، و کنجد ۲۵۵/۴۹ محاسبه شد. مقادیر *ELR برای نظام‌های کلزا ۶۲/۱۳۷، گلرنگ ۴۵/۶۷۱، و کنجد ۱۱۶/۷۹۶ به‌دست آمد (جدول ۴). این مقادیر بیانگر فشار محیطی بسیار شدیدی است که هر سه نظام مورد ارزیابی بر محیط زیست وارد می‌کنند. از دلایل اصلی میزان بالای این شاخص در هر سه نظام می‌توان به مصرف زیاد ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی (به‌ویژه آب‌های زیرزمینی و فرسایش خاک) اشاره کرد. مقدار ELR در نظام تولید گلرنگ کم‌تر از دو نظام دیگر است که این بیانگر کم‌تر بودن میزان فشار و تنشی است که به محیط وارد می‌شود و دلیل آن، استفاده از سهم بیش‌تر ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر و سهم کم‌تر استفاده از ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی در نظام تولیدی گلرنگ نسبت به دو نظام مورد ارزیابی دیگر می‌باشد. شاخص نسبت بار زیست‌محیطی برای کلزا در نظام‌های کشت معیشتی و تجاری به‌ترتیب ۱۹/۷۵ و ۱۲/۶۸ و مقادیر *ELRدر این دو نظام ۱۷/۸۵ و ۴ محاسبه شد (Amiri et al., 2019). ELR تولید قهوه در برزیل در سه نظام تولیدی شامل بوم‌نظام تجاری، منطقه محافظت شده قانونی و مناطق حفاظت شده بومی تولید این محصول به‌ترتیب ۲/۸۹، ۰/۳۹ و ۲/۰۶ به‌دست آمد (Giannetti et al., 2011).

پایداری محیط زیست استاندارد (ESI) و اصلاح شده (*ESI)

دو شاخص پایداری محیط زیست استاندارد (ESI) و اصلاح شده (*ESI) نشان‌دهنده میزان فشار از سوی نظام تولیدی بر محیط‌زیست است (Odum, 1996). شاخص‌های ESI و *ESI هر دو سازگاری اقتصادی و زیست‌محیطی فرآیندهای تولید را از دیدگاه‌های متفاوت مدنظر می‌گیرند. مقادیر ESI و *ESI بالاتر پایداری بیش‌تر نظام تولید را نشان می‌دهند (Ulgiati & Asgharipour et al., 2019; Brown, 1998). مقدار اندک این شاخص‌ها حاکی از فشار بالا بر محیط زیست می‌باشد و تداوم این فشارها بر محیط زیست مطمئناً اثرات سوء بر پایداری تولید نظام دارد (Ulgiati & Brown, 1998). مقادیر بیش‌تر از ۱۰ این شاخص‌ها نشانگر نظام‌های پایدار با کم‌ترین فشار، بین یک تا ده نظام‌های زنده و خوب و کم‌تر از یک نشان‌دهنده نظام‌های از بین برنده منابع است (Asgharipour et al., 2019). در این مطالعه، به‌ترتیب ESI و *ESI برای نظام تولیدی کلزا ۰/۰۶۲ و ۰/۱۰۳، برای گلرنگ ۰/۰۷۸ و ۰/۱۱۹ و برای کنجد ۰/۰۲۶ و ۰/۰۵۶ محاسبه شد. در این مطالعه، مقادیر شاخص پایداری محیط زیست برای هر سه نظام کم‌تر از یک بود که نشان‌دهنده سطح پایداری نامناسب این نظام‌ها و فشار محیطی بالای آن‌ها است (Zhang et al., 2018). دلیل این امر برای هر سه نظام کلزا، گلرنگ و کنجد،

مصرف بسیار زیاد منابع محیطی تجدیدناپذیر می‌باشد. مقادیر شاخص پایداری زیست‌محیطی کم‌تر از واحد در تحقیقات زیادی به‌دست آمده، به‌طور مثال برای مطالعات انجام شده در ایران، مقدار ESI و ESI* را برای نظام تولید کلزا در لرستان برای نظام تجاری ۰/۱۲ و ۰/۱۳ و نظام معیشتی ۰/۱۲ و ۰/۳۸ محاسبه شد (Amiri et al., 2019). مقادیر این شاخص‌ها برای نظام‌های تولید سیر، پیاز و گندم در سیستان به‌ترتیب ۰/۰۵، ۰/۰۹ و ۰/۰۸ به‌دست آمد (Yasini et al., 2020). شاخص ESI برای بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره سیب‌زمینی به‌ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۷ به‌دست آمد (Shah Hoseini et al., 2021). ESI در پنج نظام مختلف تولید لوبیا در ایران بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۸ گزارش شد (Asgharipour et al., 2019).

شاخص کسر مبادله امرژی (EER)

شاخص کسر مبادله امرژی با تقسیم کل امرژی مصرفی در تولید بر امرژی دریافتی از بازار محاسبه می‌شود (Azizi et al., 2021). این شاخص امکان رویارویی خروجی و ورودی نظام را به‌طور توأم مهیا می‌سازد (Lu et al., 2009). کسر مبادله امرژی بیش‌تر از یک، مطلوب و نشان‌دهنده قدرت بیش‌تر خرید امرژی پول به‌عنوان مبدل کالا (محصول تولیدی) نظام در بازار در مقایسه با جریان امرژی ورودی به نظام است (Amiri et al., 2019). مقادیر EER در نظام‌های مورد ارزیابی کلزا، گلرنگ و کنجد به‌ترتیب ۱۲/۹۳۶، ۸/۱۷۸ و ۱/۴۷۰ محاسبه شد. این مقادیر برای هر سه نظام، بیش‌تر از واحد بوده و بیانگر مطلوبیت قیمت فروش این محصول در بازار می‌باشد. کسر مبادله امرژی در نظام‌های تولید: لوتوس، لوتوس-میگو، لوتوس- ماهی، موز، پاپایا، وامپی و گواوا را به‌ترتیب ۲/۶، ۲/۵، ۴/۲، ۲/۵، ۱/۸، ۳/۶ و ۱/۹ گزارش شد که همگی نشان‌دهنده EER با مطلوبیت خوب می‌باشند (Lu et al., 2009; 2018). این شاخص برای نظام‌های تولید خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل دلمه‌ای و بادمجان به‌ترتیب معادل ۰/۷۲، ۰/۵۴، ۰/۴۶ و ۰/۳۳ گزارش شد (Asgharipour et al., 2020). مقادیر EER در هر چهار نظام تولید این سبزیجات، کم‌تر از واحد و نامطلوب بود.

شاخص امرژی سلامت تولید (EIPS)

EIPS تأثیرات ناشی از استفاده کودها و سموم شیمیایی را بر نظام تولیدی محصولات و به‌نوعی سلامت محصول مورد ارزیابی قرار می‌دهد و هرچه میزان این شاخص بیش‌تر باشد، سلامت محصول نیز افزایش می‌یابد. این شاخص برای کلزا ۰/۳۹۳۸، گلرنگ ۰/۳۲۸۸ و کنجد ۰/۳۶۱۳ بود. EIPS در هر سه نظام مورد ارزیابی تقریباً شبیه به هم به‌دست آمد. بنابراین، می‌توان چنین گفت که نظام گلرنگ پایین‌ترین میزان سلامت تولید را در بین سه نظام دارا است. برای بالا بردن این شاخص باید استفاده از کودها و سموم شیمیایی را در مجموع هر سه نظام علی‌الخصوص نظام تولیدی گلرنگ به حداقل رساند.

مقادیر شاخص امرژی سلامت تولید برای نظام‌های مکانیزه، سنتی، حفاظتی و رویشگاه طبیعی موسیر به‌ترتیب ۰/۸۸۳، ۰/۹۰۶، ۱/۰۰ و ۱/۰۰ محاسبه گردید (Amiri et al., 2021). هم‌چنین مقدار EIPS برای دو نظام تولید برنج- اردک و تناوب گندم- برنج به‌ترتیب ۱/۰۰ و ۰/۳۴ گزارش شد (Xi & Qin, 2009).

تحلیل اقتصادی

میزان متوسط عملکرد اقتصادی در منطقه سیستان برای نظام‌های تولید کلزا ۷۵۰، گلرنگ ۸۶۰ و کنجد ۵۵۰ کیلوگرم در هکتار در سال محاسبه شد، که نشان‌دهنده برتری بیش‌تر نظام گلرنگ از جهت عملکرد نسبت به دو نظام دیگر مورد ارزیابی بود. این در حالی است که قیمت فروش به‌ازای هر کیلوگرم برای کلزا ۱۱۰۰۰۰ ریال، گلرنگ ۸۵۰۰۰ ریال و کنجد ۲۳۵۰۰۰ ریال می‌باشد (جدول ۵).

هزینه‌های تولید برای یک هکتار کلزا معادل ۴۱/۵ میلیون ریال برآورد شد. ارزش ناخالص تولید محاسبه شده برای این نظام برابر ۸۲/۵ میلیون ریال بود و در نهایت، درآمد خالص برای کلزا برابر با ۴۱ میلیون ریال به‌دست آمد. همچنین نسبت سود به هزینه ۰/۹۹ میلیون ریال و بهره‌وری عملکرد نیز برابر با ۱۸/۲۹ حاصل گردید. این مقادیر برای نظام تولید گلرنگ برای یک هکتار چنین به‌دست آمد که مجموع کل هزینه‌های تولید ۳۸/۲ میلیون ریال و ارزش ناخالص تولید برابر با ۷۳/۱ میلیون ریال بود و در نتیجه، درآمد خاص برای نظام گلرنگ برابر با ۳۴/۹ حاصل شد. نسبت سود به هزینه و بهره‌وری عملکرد نیز برای این محصول به‌ترتیب برابر ۰/۹۱ و ۲۴/۶۴ محاسبه شد. در آخر، کل هزینه‌های تولید برای نظام تولید کنجد برای یک هکتار ۲۶ میلیون ریال، ارزش ناخالص تولید ۱۲۹/۲۵ و درآمد خالص برای این نظام برابر ۱۰۳/۲۵ به‌دست آمد، نسبت سود به هزینه

برای کنجد ۳/۹۷ و بهره‌وری عملکرد نیز ۵/۳۳ کیلوگرم بر میلیون ریال حاصل شد.

جدول ۵- تجزیه و تحلیل اقتصادی نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد منطقه سیستان

Table 5- Economic analysis of rapeseed, safflower and sesame production systems in Sistan region

پارامتر Parameter	کلزا Rapeseed	گلرنگ Safflower	کنجد Sesame
عملکرد اقتصادی Economic yield (kg.ha^{-1})	750	860	550
قیمت فروش محصول اقتصادی Selling price of economic product (thousand Rials.kg^{-1})	110	85	235
ارزش ناخالص تولید Gross production value (million Rials.ha^{-1})	82.5	73.1	129.25
کل هزینه‌های تولید Total production costs (million Rials.ha^{-1})	41.5	38.2	26
در آمد خالص Net income (million Rials.ha^{-1})	41	34.9	103.25
نسبت سود به هزینه Profit to cost ratio (million Rials.ha^{-1})	0.99	0.91	3.97
بهره‌وری عملکرد اقتصادی Productivity of economic performance (million Rials.ha^{-1})	18.29	24.64	5.33

تحلیل اقتصادی نظام‌های مورد مطالعه حاکی از این است که ارزش ناخالص تولید برای نظام کنجد در منطقه سیستان بالاتر از دو نظام دیگر بود. علی رغم اینکه دو نظام تولید گلرنگ و کلزا بهره‌وری عملکرد بیش‌تری را دارا بودند، امّا نسبت سود به هزینه در این دو نظام قابل توجه نیست. گلرنگ که بیش‌ترین بهره‌وری عملکرد را در بین نظام‌های مورد مطالعه دارا بود، به‌دلیل قیمت فروش کم‌تر، درآمد خالص چندانی نداشت، موضوع بهره‌وری عملکرد بیش‌تر و قیمت فروش کمتر برای کلزا هم به مانند گلرنگ صدق می‌کند. طبق نتایج، در نظام‌های تولید کلزا و گلرنگ، درآمد با هزینه‌های تولید حتی برابر هم نبود. امّا نظام کنجد با کم‌ترین بهره‌وری عملکرد دارای بالاترین قیمت فروش، کل هزینه‌های تولیدی کم‌تر و در نتیجه، درآمد خالص بیش‌تر، اقتصادی‌ترین نظام در بین سه نظام مورد مطالعه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به‌منظور مقایسه پایداری تولید و بهره‌وری اقتصادی گیاهان روغنی (کلزا، گلرنگ و کنجد) در منطقه سیستان ایران براساس تحلیل‌های امرژی و اقتصادی در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ صورت گرفت. این تحقیق تلاشی برای یافتن و معرفی محصولی است که حداکثر کارایی، بهره‌وری اقتصادی و اکولوژیکی و سطح بالایی از ملاحظات زیست‌محیطی را همراه داشته باشد. کشاورزی به‌عنوان شغلی مهم در منطقه سیستان قلمداد می‌شود. آنچه که در وهله اول در بحث کشاورزی مورد توجه قرار می‌گیرد، تولید موفق و سود حاصله از آن است. امّا آن‌چنان که باید به سلامت خاک، بهره‌وری زمین و آب که از مهم‌ترین اجزای تولید است و بار زیست‌محیطی توجهی نمی‌شود. تحلیل اقتصادی میزان سوددهی نظام تولید را محاسبه کرده و سهم نهاده‌های محیطی رایگان در آن لحاظ نمی‌شود، امّا در تحلیل امرژی این مشکل مدنظر گرفته شده، زیرا شاخص‌هایی مانند نسبت عملکرد امرژی، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی، نسبت بار زیست‌محیطی و ... را مورد ارزیابی قرار داده و نگرانی‌ها در خصوص فشارهای وارده بر محیط زیست را کم می‌کند. معمولاً تحلیل‌های امرژی و اقتصادی نتایج یکسانی را نشان نمی‌دهند. نتیجه تحلیل امرژی سه نظام مورد ارزیابی تولید کلزا، گلرنگ و کنجد چنین به‌دست آمد که شاخص کسر مبادله امرژی (EER) برای نظام تولیدی کلزا بیشتر از دو نظام دیگر بود و شاخص امرژی سلامت تولید برای هر سه نظام تقریباً در یک سطح بود و تفاوت چندانی مشاهده نشد. پایداری زیست‌محیطی (ESI و ESI*) بیشتر، درصد تجدیدپذیری (R%) بالاتر، بار زیست‌محیطی (ELR و ELR*) و نسبت سرمایه‌گذاری نسخه اصلاح شده (EIR*) کم‌تر در

نظام گلرنگ، حاکی از پایداری اکولوژیکی بیش‌تر این نظام می‌باشد. ارزیابی امرژی نشان‌دهنده برتری نظام گلرنگ برای دستیابی به پایداری نسبت به نظام‌های کنجد و کلزا می‌باشد.

تحلیل امرژی سهم نهاده‌های طبیعی و اقتصادی را با واحد یکسان امژول خورشیدی محاسبه کرده و هدف آن، بهبود بخشیدن به ارزیابی پایداری محیطی و اقتصادی است. استفاده ترکیبی از تحلیل اقتصادی و تحلیل امرژی در این تحقیق می‌تواند مسیری را برای تصمیم‌گیری‌های مؤثر مدیریت برای همه نظام‌ها به‌سوی توسعه پایدار برای اقتصاد و محیطزیست به‌عنوان یک مجموعه بیان کند. به‌عنوان یک نتیجه کلی، این تحلیل‌ها نشان از این دارد که عملکرد محیطی بهتر با عملکرد اقتصادی ضعیف‌تر همراه است. از آنجایی که این تحقیق تلفیقی از نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌های امرژی و اقتصادی می‌باشد، می‌توان با ایجاد آگاهی بیش‌تر فنی و مدیریت منابع از جمله جلوگیری از تلفات ماده‌آلی و فرسایش خاک و کاهش ورودی‌های خریداری شده تجدیدناپذیر، افزایش اتکای نظام به منابع محیطی تجدیدپذیر و همچنین استفاده از بذر بیشتر و ارقام اصلاح شده، افزایش عملکرد اقتصادی، استفاده بیشتر کود آلی به‌جای کودهای شیمیایی در نظام تولید کنجد به ارتقای بهبود پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی این نظام کمک کرد.

References

1. Ahmadi, M., & Aghaalikhani, M. (2012). Analysis of energy use in cotton cropping in Golestan province in order to represent a strategy for increase of resources productivity. *Journal of Agroecology. 4*, 151-158. (In Persian with English abstract).
2. Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., & Armin, M. (2019). A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran based on emergy and economic analyses. *Journal of Cleaner Production. 226*: 1051–1066. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.091
3. Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., Azizi, K., Kakolvand, E., & Moghadam, E.H. (2021). Conservation agriculture, a selective model based on emergy analysis for sustainable production of shallot as a medicinal-industrial plant. *Journal of Cleaner Production. 292*, 126000. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126000
4. Asgharipour, M.R., Amiri, Z., & Campbell, D.E. (2020). Evaluation of the sustainability of four greenhouse vegetable production ecosystems based on an analysis of emergy and social characteristics. *Ecological Modelling. 424*, 109021. https://doi.org/ 10.1016/j.ecolmodel.2020.109021
5. Asgharipour, M.R., Shahgholi, H., Campbell, D.E., Khamari, I., & Ghadiri, A. (2019). Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. *Environmental Monitoring and Assessment. 191*(2), 1-21. https://doi.org/10.1007/s10661-018-7123-3
6. Azizi, K. Campbell, D.E., Amiri, Z., Asgharipour, M.R., & Kakalvand, A. (2021). Comparison of the sustainability of agricultural system and natural environment of shallot production in Al-Shatar city, Lorestan province based on emergy analysis. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production 31*(4), 303-323. (In Persian with English abstract)
7. Brandt-Williams, S.L. (2002). Emergy of Florida Agriculture. 2nd Edition, USA: Florida, University of Florida, Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Science, Gainesville, 38 p.
8. Brown, M.T., & Ulgiati, S. (1997). Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering 9*, 51–69. https://doi.org/10.1016/S0925-8574(97)00033-5
9. Brown, M.T., & Ulgiati, S. (2004). Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling. 178*, 201–213. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.03.002
10. Brown, M.T., & Ulgiati, S. (2005). Emergy, transformity and ecosystem health. *Handbook of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health, 333*: 346.
11. Campbell, D.E. (1998). Emergy analysis of human carrying capacity and regional sustainability: An example using the state of Maine. *Environmental Monitoring and Assessment. 51*, 531-569. https://doi.org/10.1023/A:1006043721115
12. Campbell, D.E., Brandt-Williams, S.L., & Meisch, M.E.A. (2005). Environmental Accounting Using Emergy, Evaluation of the State of West Virginia. First Edition, USA: Washington, Office of Research and Development, 116 p.
13. Cavalett, O., Queiroz, J.F., & Ortega, E. (2006). Emergy assessment of integrated production systems of grains,

pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling. 193*, 205–224. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.07.023

14. Chen, G.Q., Jiang, M.M., Chen, B., Yang, Z.F., & Lin, C. (2006). Emergy analysis of Chinese agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment. 115*, 161–173. https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.01.005
15. Chen, S., & Chen, B. (2012). Sustainability and future alternatives of biogas-linked agroecosystem (BLAS) in China: A emergy synthesis. *Renewable and Sustanable Energy Reviews.* 16, 3948-3959. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.040
16. Cheng, H., Chen, C., Wu, S., Mirza, Z.A., & Liu, Z. (2017). Emergy evaluation of cropping, poultry rearing, and fish raising systems in the drawdown zone of three gorges reservoir of china. *Journal of Cleaner Production. 144*, 559-571. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.053
17. Dale, V.H., & Polasky, S. (2007). Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecological Economics. 64*, 286-296. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.05.009
18. Danesh-Shahraki, A., Kashani, A., Mesgarbashi, M., Nabipour, M., & Kouhi-Dehkordi, A. (2008). The effect of plant densities and time of nitrogen application on some agronomic characteristic of rapeseed. Appl. *Field Crops Research. 79*, 10-17 (In Persian with English abstract).
19. Fallahinejad, S., & Armin, M. (2022). Role of mechanization on the sustainability of sugar beet production using emergy approach. *Agriculture, Environment & Society.* 2, 15-24. https://doi.org/10.22034/aes.2022.327793.1019
20. Fan, J., Mc Conkey, B.G., Janzen, H.H., & Miller, P.R. (2018). Emergy and energy analysis as an integrative indicator of sustainability: A case study in semi-arid Canadian farmlands. *Journal of Cleaner Production. 172*, 428-437. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.200
21. Fei, R., & Lin, B. (2017). Estimates of energy demand and energy saving potential in china's agricultural sector. *Energy. 135*, 865-875. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.173
22. Feng, J.Y., Lu, S.Z., Fu, Z.T., & Tian, D. (2013). Emergy analysis of protected grape production system in China. Pages 3938-3942 in Advanced Materials Research. Trans Tech Publ.
23. Fetros, F. (1998). Productivity in the orbit of sustainable development. Scientific-Research *Agricultural Economics and Development. 9*, 2-89. https://doi.org/10.1504/IJISD.2014.066656
24. Ghaley, B.B., Kehli, N., & Mentler, A. (2018). Emergy synthesis of conventional fodder maize (*Zea mays* L.) production in Denmark. *Ecological Indicators. 87*, 144-151. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.027
25. Gheicari, G., Asgharipour, M. R., Mousavi Nik, M., & Ghanbari, A. (2021). Effects of different cotton tillage methods on N2O and NH3 emissions in a cotton-wheat rotation. *Agriculture, Environment & Society*. *1*(1), 1-9. https://doi.org/10.22034/aes.2021.144106
26. Giannetti, B.F., Ogura, Y., Bonilla, S.H., & Almeida, C.M.V.B. (2011). Emergy assessment of a coffee farm in Brazilian Cerrado considering in a broad form the environmental services, negative externalities and fair price. *Agricultural Systems. 104*, 679-688. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.08.001
27. Hashemi Bani, O., Salehi, M.H., & Beigi Harchegani, H. (2009). Estimation of soil organic matter by ignition in four important plains of Chaharmahal and Bakhtiari province. *Agricultural Science and Technology and Natural Resources. Soil and Water Sciences. 13*(50), 77-89. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/agry.2021.69477.1032
28. Houshyar, E., Wu, X., & Chen, G. (2018). Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: an emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*. *172*, 2246-2255. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.187
29. Hu, S., Mo, X.G., Lin, Z.H., & Qiu, J.X. (2010). Emergy assessment of a wheat-maize rotation system with different water assignments in the North China Plain. *Journal of Environmental Management*. 46, 643–657. https://doi.org/10.1007/s00267-010-9543-x
30. Jafari, M., Asgharipour, M.R., Ramroudi, M., Galavi, M., & Hadarbadi, Gh. (2018). Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. *Journal of Cleaner Production. 193*, 642-651. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.089
31. Kohkan, S.A., Ghanbari, A., Asgharipour, M.R., & Fakheri, B.A. (2017). Emergy evaluation of Yaghuti grape of Koocheki, A.R., Nasiri Mahalati, M., Amin Ghafouri, A., Mahluji Rad, M., & Falahpour, F. (2016). Economic value of ecosystem services for wheat production in Razavi Khorasan province. *Journal of Agricultural Ecology*. *8*(4), 612-627.
32. Kouchaki, A. (1997). Sustainable agriculture vision or method? *Journal of Agricultural Economics and Development. 20*, 53-72.
33. La Rosa, A., Siracusa, G., & Cavallaro, R. (2008). Emergy evaluation of Sicilian red orange production. Acomparison between organic and conventional farming. *Journal of Cleaner Production. 16*, 1907-1914. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.01.003

34. Lan, S.F., Qin, P., & Lu, H.F. (2002). Emergy assessment of ecological systems (Vol. 75 and 76, pp. 406–412). Beijing: Chemical industry press.
35. Lefroy, E., & Rydberg, T. (2003). Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. *Ecological Modelling. 161*, 195-211. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00341-1
36. Lu, H.F. Bai, Y., Ren, H., & Campbell, D.E. (2018). Bamboo vs. crops: an integrated emergy and economic evaluation of using bamboo to replace crops in south Sichuan province, China. *Journal of Cleaner Production. 177*, 464–473. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.193
37. Lu, H.F., Bai, Y., Ren, H., & Campbell, D.E. (2009). Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Ecological Engineering. 35*, 1743–1757. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.08.001
38. Lu, H.F., Bai, Y., Ren, H., & Campbell, D.E. (2010). Integrated emergy, energy and economic evaluation of rice and vegetable production systems in alluvial paddy fields: Implications for agricultural policy in China. *Journal of Environmental Management. 91*, 2727–2735. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.07.025
39. Ministry of Power. (2011). Energy balance sheet 2010. Vice President of Electricity and Energy Affairs, Electricity and Energy Macro Planning Office, Ministry of Energy, Islamic Republic of Iran.
40. Miri, A., Pahlevanravi, A., & Moghadamnia, A.R. (2009). Investigation of dust storm in Sistan region after periodic droughts. *Pasture and Desert Research. 16*(3), 329-342. (In Persian with English abstract)
41. Mohammadi, S., Karimzadeh, H., & Alizadeh, M. (2018). Spatial estimation of soil erosion in Iran using RUSLE model. *Iranian Journal of Ecohydrology. 5*(2), 551-569. (In Persian with English abstract).
42. Nazarian, S.M., Zibaee, M., & Sheikh Zainuddin, A. (2020). Assessing the sustainability of agricultural systems using the consensual planning approach: Kohdasht region of Lorestan. *Agricultural Economics and Development. 34*, 239-257.
43. Negaresh, H., & Khosravi, M. (2000). Investigation of the agricultural climate of Sistan and Baluchestan province. Sistan and Baluchistan University Research Assistant. Zahedan.
44. Odum, H.T. (1983). Systems Ecology. Wiley, New York, pp. 644.
45. Odum, H.T. (1988). Self-Organization, Transformity, and Information. *Science*, *242*, 1132-1139.
46. Odum, H.T. (1996). Environmental Accounting, EMERGY and Decision Making. John Wiley, New York, 370 pp.
47. Odum, HT. (2000). Handbook of Emergy Evaluation. A Compendium of Data for Emergy Computation. Folio #2 Emergy global processes. Center of Environmental Policy, University of Florida, Gainesville.
48. Ortega, E., Anami, M., & Diniz, G. (2002). Certification of food products using emergy analysis, in: Proceedings of III International Workshop Advances in Energy Studies, pp. 227–237.
49. Patterson, M., McDonald, G., & Hardy, D. (2017). Is there more in common than we think? Convergence of ecological footprinting, emergy analysis, life cycle assessment and other methods of environmental accounting. *Ecological Modelling.* 362, 19-36. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.07.022
50. Pretty, J.N., Brett, C., Gee, D., Hine, R.E., Mason, C.F., Morison, J.I.L., Raven, H., Rayment, M.D., & Vander Bijl, G. (2000). An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agricultural Systems. 65*, 113-136. https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00031-7
51. Quintero-Angel, M., & Gonzalez-Acevedo, A. (2018). Tendencies and challenges for the assessment of agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 254, 273–281. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.030
52. Salimipour, S.A., & Naqshbandi, Y., 2014. Emergy: concept, need and applications. *New Technologies in New Systems. 4*(1), 48-56.
53. Seyedan, M. (2003). Productivity analysis and determining the optimal amount of potato production factors in Hamadan city. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. *34*(4), 1003-1010.
54. Shah Hosseini, H.R., Ramrodi, M., & Kazemi, H. (2021). Economic analysis and evaluation of the sustainability of potato production based on greenhouse gas emissions (Case study: The province of Golestan). *Agricultural Knowledge and Sustainable Production. 31*(3), 295-311.
55. Shah Hoseini, H.R., & Kazemi, H. (2022). Evaluation of sustainability of rainfed rapeseed production in Gorgan County using Emergy analysis. *Journal of Emergy, Life Cycle and System Analysis in Agriculture.* 2(1), 61-70. https://doi.org/10.22034/aes.2022.337172.1031
56. Shariati, Sh., & Ghazi Shahnizadeh, P. (2000). Rapeseed, vice-president of training and equipping manpower. Publications of the Agricultural Education Publishing Center. 40.
57. Su, Y., He, Sh., Wang, K., Shahtahmassebi, A.R., Zhang, L., Zhang, J., Zhang, M., & Gan, M. (2020). Quantifying the sustainability of three types of agricultural production in China: An emergy analysis with the integration of environmental pollution. *Journal of Cleaner Production. 252*, 119650.

https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119650
58. Syswerda, S.P. (2009). Ecosystem services from agriculture across a management intensity gradient in Southwest Michigan. Ph.D. D, Michigan State University.
59. Ulgiati, S., & Brown, M.T. (1998). Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling. 108*, 23–36. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(98)00016-7
60. Ulgiati, S., Odum, H., & Bastianoni, S. (1994). Emergy use, environmental loading and sustainability an emergy analysis of Italy. *Ecological Modelling. 73*, 215–268. https://doi.org/10.1016/0304-3800(94)90064-7
61. Vahedi, M., Hosseini, S.M., Farajolahhosseini, S.J., & Mirdamadi, M. (2009). Investigating viewpoints of Nazarabad county farmers about subjective indices of sustainable agriculture in the farm household level. *Journal of Agricultural Economics and Development Research. 40*(2), 123-133.
62. Vassallo, P., Riley, S., Beiso, I., Ridolfi, R., & Fabiano, M. (2007). Emergy analysis for the environmental sustainability of an inshore fish farming system. *Ecological Indicators. 7*(2), 290–298. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.02.003
63. Wang, X., Bai, Y., Ren, H., & Campbell, D.E. (2014). Emergy analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA. *Agricultural Systems. 128*, 66-78. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.03.005
64. Xi, Y.G., & Qin, P. (2009). Emergy evaluation of organic rice-duck mutualism system. *Ecological Engineering 35*(11):1677-1683. https://doi.org/ 10.1016/j.ecoleng.2007.11.006.
65. Xueping, H., & Qian, L. (2007). Assessment of the agricultural sustainability of Shaanxi province China. *Journal of Ecological Economy*. 3, 60-66.
66. Yamane, T. (1967). Elementary Sampling Theory. Englewood CliKs. Prentice-Hall, NJ, USA.
67. Yasini, H., Ghanbari, A., Asgharipour, M.R., & Seyed Abadi, M. (2020). Assessing the sustainability of garlic, onion and wheat production systems in Sistan with integrated emergy and economic analysis. *Journal of Agricultural Sciences and Sustainable Production. 30*, 269-288.
68. Yousefi, M., & Mahdavi Damghani, A. (2013). Investigation of water use efficiency and energy in irrigated systems in Kermanshah province. *Journal of Agroecology. 5*, 113-121. (In Persian with English abstract)
69. Zhai, X., Huang, D., Tang, S., Li, S., Guo, J., Yang, Y., Liu, H., Li, J., & Wang, K. (2017). The emergy of metabolism in different ecosystems under the same environmental conditions in the agro-pastoral ecotone of northern China. *Ecological Indicators. 74*, 198-204. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.028
70. Zhang, D.Y., Ling, F.L., Zhang, L.F., Yang, S.Q., Liu, X.T., & Gao, W.S. (2005). Emergy analysis of planting system at Gongzhuling county in the main grain production region in Northeast China Plain. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 21*(6): 12–17. (In Chinese with English abstract)
71. Zhang, L.X., Song, B., & Chen, B. (2012). Emergy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. *Journal of Cleaner Production. 28*, 33-44. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.042
72. Zhang, Q., Yue, D., Fang, M., Yu, Q., Huang, Y., Su, K., Ma, H., & Wang, Y. (2018). Study on sustainability of land resources in dengkou county based on emergy analysis. *Journal of Cleaner Production. 171*, 580-591. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.275
73. Zia Tavana, M.H. (1992). Features of the natural environment of Sistan pit. Geographical essays of Dr. Mohammad Hasan Ganji's celebration letter. Tehran. Publications of Gitaology.

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

Research Article
Vol. 16, No. 1, 2024, p. 181-196

The Effect of Some Plant Growth Stimulants on Some Physiological and Biochemical Properties of Lemon Balm (*Melissa officinalis*. L.) under Different Irrigation Regimes

Mustafa Yasini[1], Soran Sharafi[2] and Saman Yazdan Seta[2]

1 and 2- Graduated M.Sc. and Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University, Mahabad Branch, Mahabad, Iran, respectively.
(*- Corresponding author's Email: S.sharafi@iau. Mahabad.ac.ir)

Received: 06-07-2023
Revised: 12-10-2023
Accepted: 24-10-2023
Available Online: 24-10-2023

How to cite this article:
Yasini, M., Sharafi, S., & Yazdan Seta, S. (2024). The effect of some plant growth stimulants on some physiological and biochemical properties of Lemon balm (*Melissa officinalis*. L) under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology, 16*(1), 181-196. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2023.83280.1159

Introduction

Medicinal plants are one of the most valuable resources in Iran's wide range of natural resources, which can play an important role in society's health, job creation, and non-oil exports if they are scientifically recognized, cultivated, developed, and exploited properly. Iran is considered one of the world's best regions in terms of climate, geographical location, and medicinal plant growth, and it has been a source of production and consumption of medicinal plants in the past. Lemon balm is generally used in traditional medicine to treat digestive problems, pain, and mental disorders. Drought stress is one of the most serious and widespread problems that limit plant productivity because it negatively affects plant physiology. The effects of drought stress depend on the duration, intensity and stage of growth and the genetic tolerance capacity of plants, which can reduce the growth of plants. It causes a change in morphological and physiological structures and the pattern of biomass distribution or even death.

Materials and Methods

To study the effect of foliar different growth stimulants on the growth characteristics and essential oil of balm at different levels of drought stress, an experiment was carried out in the crop year 2021. The experiment was a split plot based on randomized complete blocks with four replications, where different levels of irrigation include irrigation after 80, 60, and 40 percent of the field crop capacity (FC) in the main plots and foliar application of different growth stimulants including control, melatonin, amino acid, and folic acid were placed in sub-plots. In this research, total chlorophyll, dry matter yield, relative water content, phenoline content, soluble sugars, essential oil content, essential oil yield, total phenol, and flavonoid were measured. The data obtained from the experiment was analyzed using SAS.9.4 software. The obtaineds averages were statistically compared using Duncan's method (LSR) and at the five percent probability level.

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.2023.83280.1159

The results of variance analysis of the data showed that the effect of irrigation and foliar spraying on growth stimulants on all investigated traits were significant at the probability level of 1%. There was a significant difference between the interaction treatments in terms of chlorophyll content, proline content, essential oil percentage, essential oil yield, and flavonoid content at the probability level of one percent and in terms of relative leaf water content, dry matter yield, soluble sugars content and total phenol content at the probability level of five percent. The results showed the highest chlorophyll content (2.25 mg g^{-1} FW), relative leaf water content (88.12 percent), and dry matter yield (793.79 kg ha^{-1}) was recorded in melatonin foliar application and irrigation of 80% of FC treatments. Also, the highest essential oil content (0.81%) and essential oil yield (6.46 kg ha^{-1}) were observed in treating foliar application with melatonin under the irrigation treatment of 60% FC. This study allocated the highest total phenol content to melatonin foliar application at 40% of the FC conditions. In this study, 40% FC irrigation treatment increased the flavonoid content by 29.90% and 93.23%, respectively, compared to 60% and 80% FC. Furthermore, foliar application of melatonin, proline amino acid, and folic acid increased the flavonoid content compared to the control treatment by 17.64, 23.35 and 32.35%, respectively.

Conclusion

In this study, melatonin foliar application in all three irrigation conditions increased essential oil yield compared to the corresponding control. Under irrigation and foliar spraying of melatonin, the synthesis of secondary metabolites and essential oil has been accelerated and produced the maximum yield of essential oil. Therefore, foliar spraying of melatonin and mild water deficit stress can be recommended to achieve maximum economic yield in Lemon balm.

Keywords: Dry matter, Essential oil percent, Irrigation, Melatonin, Proline

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص ۱۹۶-۱۸۱

اثر برخی از محرک‌های رشد گیاهی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

مصطفی یاسینی[۱]، سوران شرفی[۲*] و سامان یزدان ستا[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۲

چکیده

با هدف مطالعه اثر محلول‌پاشی محرک‌های مختلف رشد بر خصوصیات رشدی و اسانس گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) در سطوح مختلف تنش خشکی، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد اجرا شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار بود. سطوح مختلف آبیاری شامل آبیاری بعد از ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی محرک‌های مختلف رشد شامل شاهد، ملاتونین، اسیدآمینه پرولین و اسید فولیک در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بالاترین محتوی کلروفیل (۲/۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، محتوی نسبی آب برگ (۸۸/۱۲ درصد) و عملکرد ماده خشک (۷۹۳/۷۹ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول‌پاشی ملاتونین و آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد، همچنین بالاترین درصد اسانس (۰/۸۱ درصد) و عملکرد اسانس (۶/۴۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول‌پاشی ملاتونین تحت تیمار آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. محلول‌پاشی ملاتونین در هر سه تیمار آبیاری بر درصد و عملکرد اسانس افزود. بالاترین محتوی فنل کل (۰/۵۰ میلی‌گرم اکی‌والان‌های اسید گالیک در ۱۰۰ گرم عصار) به تیمار محلول‌پاشی ملاتونین تحت شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی اختصاص داشت. تیمار آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، محتوی فلاونوئید را در مقایسه با سطوح ۶۰ و ۸۰ درصد به‌ترتیب ۲۹/۹۰ و ۹۳/۲۳ درصد افزایش داد. همچنین، محلول‌پاشی ملاتونین، اسیدآمینه پرولین و اسید فولیک محتوی فلاونوئید را در مقایسه با شاهد به‌ترتیب۱۷/۶۴، ۲۳/۳۵ و ۳۲/۳۵ درصد افزایش دادند. بنابراین، محلول‌پاشی ملاتونین می‌تواند راهکاری برای افزایش خصوصیات کمّی و کیفی بادرنجبویه در شرایط آبیاری نرمال و تنش ملایم باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، پرولین، درصد اسانس، ماده خشک، ملاتونین

مقدمه

گیاهان دارویی یکی از منابع بسیار ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران هستند که در صورت شناخت علمی، کشت، توسعه و بهره برداری صحیح می‌توانند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و صادرات غیرنفتی داشته باشند. ایران از لحاظ آب‌وهوا، موقعیت جغرافیایی و زمینه رشد گیاهان دارویی یکی از بهترین مناطق جهان محسوب می‌شود و در گذشته هم منبع تولید و مصرف گیاهان دارویی بوده است (Sultan *et al.*, 2015). بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) یک گیاه دارویی چند ساله از خانواده نَعناعیان[۳] است.

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، مهاباد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: S.sharafi@iau. Mahabad.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2023.83280.1159

3- Lamiaceae

این گیاه بومی نواحی ساحلی دریای مدیترانه تا ایران است و به‌طور گسترده در اروپای میانه و جنوبی، بالکان، ایران، آفریقای جنوبی، آمریکای شمالی، هند، اوکراین و... قفقاز و آسیای میانه کشت می شود، بادرنجبویه به‌طور کلی در طب سنتی برای درمان مشکلات گوارشی، درد و اختلالات روانی استفاده می‌شود، مهم‌ترین اجزای اسانس این گیاه ترانس-کاروئول، ایزوبورنئول، کارواکرول استات، سیترونلول هستند (Jamal Omidi et al., 2018).

تنش خشکی یکی از جدی‌ترین و گسترده‌ترین مشکلاتی است که بهره‌وری گیاه را محدود می‌کند، زیرا بر فیزیولوژی گیاه تأثیر منفی می‌گذارد. اثرات تنش خشکی به مدت، شدت و مرحله رشد و ظرفیت تحمل ژنتیکی گیاهان بستگی دارد که می‌تواند رشد گیاهان را کاهش دهد، به‌طوری‌که باعث تغییر ساختارهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی و الگوی توزیع زیست‌توده یا حتی مرگ می‌شود (Gamze *et al*., 2005). تنش خشکی باعث آسیب اکسیداتیو با تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌شود که با بسته شدن روزنه ها موجب مهار فتوسنتز می‌شود و فعالیت آنزیم‌ها را تغییر می‌دهد (Maksup et al., 2014). با این حال، کمبود آب یک تهدید جدی برای تولید بادرنجبویه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که باعث کاهش عملکرد جهانی محصول و همچنین تولید اسانس می‌شود (Ahmadi et al., 2019;Jamal Omidi et al., 2018).

گیاهان از برخی استراتژی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برای افزایش تحمل تنش و همچنین، تولید تعدادی ترکیب برای مقابله با شرایط تنش‌زا استفاده می‌کنند که برای درک بهتر مکانیسم‌های آن‌ها نیاز است که مطالعات بیشتری در این زمینه صورت گیرد (Yang et al., 2010). گزارش شده است که محتوای اسانس گیاه و اجزای آن تحت تأثیر عواملی مانند تنش خشکی و مصرف کود است (Amuamuha et al., 2012).

یکی از اهداف فیزیولوژی پیشرفته گیاهی، تشخیص ترکیبات کارآمد، اقتصادی و ارزان برای افزایش تحمل گیاه به تنش‌های زنده و غیر زنده است. محرک‌های رشد گیاهی قادر به تحریک رشد و توسعه گیاهی تحت شرایط بهینه و تنش هستند (Ronga et al., 2019). این مواد قادر به تنظیم و افزایش فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه نیز هستند. محرک‌های رشد در فیزیولوژی گیاه از راه‌های مختلف از جمله بهبود رشد محصول، عملکرد، کیفیت، جذب عناصر غذایی و تحمل به تنش‌های غیرزنده عمل می‌کنند (Yakhin et al., 2017)، همچنین محرک‌های رشد بر روی متابولیسم گیاه اثر می گذارند و می‌توانند باعث اصلاح ساختار ریشه و افزایش توسعه ریشه شوند. یکی از انواع محرک‌های رشد گیاهی، اسیدهای آمینه هستند (Nardi et al., 2015). مهرآفرین و همکاران (Mehrafarin et al., 2015) نشان دادند که محتوی اسانس در گیاه بادرنجبویه در تیمار کاربرد اسیدآمینه (آمینولفورت و فسنوترن) افزایش یافت، همچنین بهبود درصد اسانس در اثر کاربرد اسیدهای آمینه (Aminolforte) در گیاهان دارویی بر روی بابونه آلمانی (*Matricaria recutita* L.) (Golzadeh et al., 2011) نیز گزارش شده است.

ملاتونین[1] یک ماده با وزن مولکولی کم با یک حلقه ایندول در ساختار آن است. تریپتوفان پیش‌ساز بیوسنتز ملاتونین است و در همه موجودات زنده از باکتری گرفته تا پستانداران وجود دارد. سطح ملاتونین در گیاهان از یک‌گونه به گونه دیگر و همچنین در بین گونه‌های یک‌گونه متفاوت است (Arnao & Hernandez-Ruiz, 2019). نتایج به‌دست‌آمده در سال‌های اخیر قویاً نشان می‌دهد که ملاتونین می‌تواند ترکیبی امیدوارکننده برای کاهش تنش‌های محیطی، به‌ویژه کمبود آب باشد (Arnao Nawaz et al., 2019 ; Shi et al., 2016). در مطالعه حشمتی و همکاران (Heshmati et al., 2021) مشاهده شد که محلول‌پاشی ملاتونین تحت شرایط نرمال و تنش کم‌آبی محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی، قندهای محلول و محتوی فلاونوئید را در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) افزایش داد، آن‌ها اظهار داشتند محلول‌پاشی ملاتونین با کاهش شدت تنش به‌دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانتی خود، محیطی بدون تنش برای گیاه ایجاد کرده است تا نیازی به افزایش متابولیت‌هایی که به‌طور معمول در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابند، نداشته باشد.

با توجه به اهمیت گیاهان دارویی و مواجهه این گیاهان با شدت-های مختلفی از تنش کم‌آبی در استان آذربایجان غربی و به‌خصوص شهرستان مهاباد مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر برخی از محرک-های رشد گیاهی مانند آمینواسید پرولین، ملاتونین و اسید فولیک بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و به‌خصوص درصد و عملکرد اسانس گیاه بادرنجبویه در سطوح مختلف تنش کم‌آبی انجام شد.

1- N-acetyl-5-methoxytryptamine

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱- ۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد انجام شد. محل آزمایش در طول جغرافیایی °۴۵ و ۴۳ دقیقه و عرض جغرافیایی °۳۶ و ۱ دقیقه و ارتفاع ۱۱۰۰ متر از سطح دریا واقع بود که از لحاظ اقلیمی جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور طبقه‌بندی شده است. بافت خاک محل آزمایش لومی رسی سیلت با مقدار pH برابر ۷/۵ بود، دیگر مشخصات خاک محل آزمایش در جدول ۱ قید گردیده است.

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد که در آن، سطوح مختلف آبیاری شامل شرایط بدون تنش و آبیاری بعد از ۸۰ (شرایط متعارف آبیاری)، ۶۰ (تنش ملایم) و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید کم آبی) در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی محرک‌های مختلف رشد شامل شاهد (محلول-پاشی آب مقطر) ملاتونین (غلظت ۱۰۰ میکرومولار) (Alyammahi & Gururani, 2020)، اسیدآمینه پرولین (پنج در هزار) (Arab et al., 2017) و اسید فولیک (پنج در هزار) (Khan et al., 2022) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در اوایل بهار در زمینی که سال قبل به کشت گندم اختصاص‌داده شده بود، در این بررسی، مقدار نیاز آبی بادرنجبویه ۱۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار در نظر گرفته شد (Ghamarnia et al., 2015)، بنابراین، مقدار آب مصرفی برای تیمارهای ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب حدود ۱۱۰۰، ۸۰۰۰ و ۶۰۰۰ مترمکعب در نظر گرفته شد.

عملیات شخم و دو دیسک عمود بر هم انجام شد. کاشت بذور به‌صورت دستی و در عمق ۱/۵ سانتی‌متری خاک در اوایل فروردین (۱۰ فروردین ۱۴۰۱) انجام شد (Ahmadi et al., 2019)، در هر نقطه از محل کاشت سه تا چهار بذر قرار داده شدند و در مرحله سه تا چهاربرگی، زمانی که گیاه استقرار یافت، یک بوته باقی ماند. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کشت به‌طول دو متر و فاصله بین خطوط ۲۵ سانتی‌متر بودند، فاصله بین بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (ابعاد هر کرت سه مترمربع) (Ahmadi et al., 2019)، جهت جلوگیری از اختلاط تیمارها، فاصله بین کرت‌ها ۲/۵ متر در نظر گرفته شد. مقدار کود مورد نیاز بر اساس آزمون خاک و نیاز گیاه در نظر گرفته شد، بر این اساس ۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره، ۸۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل و ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم مورد استفاده قرار گرفت. ظرفیت زراعی خاک به کمک دستگاه دیسک صفحه فشاری محاسبه و سطوح تنش ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشخص شد. به‌منظور تعیین دقیق زمان آبیاری، از دستگاه رطوبت‌سنج خاک (TDR) مدل German, FM-Trime ساخت کشور آلمان استفاده شد که با آن درصد حجمی رطوبت در عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک برآورد گردید. کلیه واحدهای آزمایشی تا مرحله چهار برگی که گیاه استقرار کامل یافت، به‌صورت یکسان آبیاری شدند و بعد از آن، اعمال تیمارهای مختلف کم‌آبی بر اساس نقشه کاشت زمین انجام گرفت و اعمال تیمارهای آبیاری تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گیاه ادامه یافت. با توجه به این نکته که روش آبیاری به‌صورت آبیاری قطره‌ای (با بازدهی آبیاری ۹۰ درصد) و نوار تیپ بود با توجه به مساحت هر واحد آزمایشی حجم آب مورد نیاز برای هر واحد آزمایشی برآورد شد و با نصب کنتور حجمی میزان آب مورد نیاز به‌دست آمد. محلول‌پاشی در سه مرحله شامل دو روز قبل از اعمال تنش کم‌آبی در مرحله سه تا پنج برگی گیاه در اوایل اردیبهشت، اواخر اردیبهشت و اواسط خرداد انجام گرفت. محلول‌پاشی با موتور پشتی و در اویل صبح، قبل از طلوع آفتاب انجام شد. در طول فصل رشد، عملیات داشت؛ مانند کنترل علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌ها به‌صورت یکسان برای کلیه واحدهای آزمایشی انجام شد.

پس از حذف حاشیه‌ها (یک متر از ابتدا و انتهای هر واحد آزمایشی)، در انتهای مرحله گل‌دهی (اواخر تیر و اوایل شهریور) نمونه‌برداری از کرت‌ها انجام شد و از هر کرت به‌طور تصادفی ۱۰ بوته برداشت شد. بوته‌های برداشت شده به‌مدت چند روز در دمای اتاق خشک شدند تا کاملاً رطوبت خود را از دست بدهند. سپس، بوته‌های چیده شده برای هر کرت جداگانه توزین شدند. محصول هر کرت به طور جداگانه داخل کیسه‌های شماره‌گذاری‌شده جمع‌آوری شد. برداشت کلی بعد از برداشت نمونه‌های اصلی انجام گردید. در این بررسی، خصوصیات مورفولوژیک (وزن خشک) و بیوشیمیایی (اسانس، پرولین، کربوهیدارت‌های محلول، کلروفیل، محتوی فنل و فلاونوئید) بادرنجبویه اندازه‌گیری شدند.

پرولین برگ طبق روش بیتس (Bates, 1973) اندازه‌گیری شد، برای اندازه‌گیری محتوی کلروفیل دو گرم از برگ جوان گیاه با استن ۸۰ درصد همگن و صاف گردید و سپس به حجم نهایی عصاره به ۲۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. مقدار کلروفیل با تعیین جذب عصاره در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با استفاده از روش آرون (Arnon

et al., 1976) محاسبه گردید. استخراج اسانس به‌روش کلونجر (Clevenger et al., 1928) و با استفاده از روش تقطیر با آب و دستگاه اسانس‌گیر صورت پذیرفت. عملکرد اسانس با ضرب درصد اسانس در عملکرد ماده خشک محاسبه شد. سنجش محتوی فنل کل به‌روش ویلیوگلو و همکاران (Velioglu et al., 1998) انجام گرفت. برای محاسبه فنل کل از منحنی استاندارد اسید گالیک استفاده گردید. محتوای فنل کل بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم وزن تر گزارش گردید. فلاونوئید به‌روش نورسنجی کلرید آلومینیوم اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS.9.4 انجام گرفت. میانگین‌های به‌دست‌آمده با استفاده از روش دانکن (LSR) و در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه آماری شدند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical analysis of the experimental soil

بافت خاک Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	فسفر P (mg.kg^{-1})	نیتروژن N%	ماده آلی O.C%	آهک T. N. V %	اسیدته pH	ظرفیت اشباع W.P	هدایت الکتریکی EC (dS.m)	درصد اشباع Sp %	پارامتر Parameters
Silt clay loam	28	55	15	448	14.50	0.14	1.23	4.55	7.5	12.3	1.39	44	Value

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری و محلول‌پاشی مواد محرک رشد بر کلیه صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بین تیمارهای اثر متقابل از لحاظ محتوی کلروفیل، محتوی پرولین، درصد اسانس، عملکرد اسانس و محتوی فلاونوئید در سطح احتمال یک درصد و از لحاظ محتوی نسبی آب برگ، عملکرد ماده خشک، محتوی قندهای محلول و محتوی فنل کل در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲).

محتوی کلروفیل کل

گیاهان محلول‌پاشی شده با ملاتونین تحت شرایط آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۲/۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر، بالاترین محتوی کلروفیل کل را تولید کردند، درحالی‌که تیمار عدم محلول‌پاشی و همچنین، محلول‌پاشی پرولین، هر دو با متوسط ۰/۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر، کمترین محتوی کلروفیل کل را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). نتایج همچنین بیانگر آن بود که تیمار محلول‌پاشی ملاتونین در هر سه تیمار آبیاری توانست اثر مثبتی بر افزایش محتوی کلروفیل کل داشته باشد و محتوی این ماده را در مقایسه با شاهد به‌صورت معنی‌داری افزایش داد. در تحقیقی بر روی بادرنجبویه، تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری از محتوی کلروفیل برگ کاست (Mohasseli et al., 2020). یکی از دلایل کاهش محتوی کلروفیل‌ها تحت شرایط تنش کم‌آبی، رقابت آنزیم گلوتامیل کیناز (آنزیم کاتالیزکننده پرولین) و آنزیم گلوتامات لیگاز (اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل) در شرایط تنش کم‌آبی است که موجب می‌شود تا پیش‌ساز گلوتامات، بیشتر به مصرف پرولین برسد و در نتیجه، بیوسنتز کلروفیل با کاهش روبرو شود (Ramak et al., 2014). نتایج مشابهی نیز از کاهش محتوی کلروفیل برگ برای گونه‌های *Melissa officinalis* و *Thymus kotschyanus* در معرض تنش خشکی گزارش شده است (Jamal Omidi et al., 2018 ; Mohasseli & Sadeghi, 2019).

با محلول‌پاشی ملاتونین، رنگدانه‌های کلروفیل حفظ شده و فتوسنتز در گیاهان رشد کرده تحت شرایط تنش کم‌آبی افزایش خواهد یافت (Cui et al., 2017). در پژوهشی بر روی ذرت (*Zea mays*) (Ahmad et al., 2019) گزارش شد که ملاتونین موجب افزایش پایداری کلروفیل برگ تحت شرایط تنش خشکی در گیاه بادرنجبویه (*Lemon balm*) شده است. در تحقیقی در گیاه بادرنجبویه گزارش شد که با تشدید تنش کم‌آبی از محتوی کلروفیل برگ کاسته شد، امّا محلول‌پاشی سطح ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین در کلیه سطوح آبیاری بر محتوی کلروفیل برگ افزود (Kabiri et al., 2018).

جدول ۲ - تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات موردمطالعه در بادرنجبویه، تحت تأثیر آبیاری و محلول‌پاشی محرک‌های رشد.

Table 2- Variance analysis (mean square) of studied traits in balm influenced by different irrigation regimes and growth stimulants

منابع تغیر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares								
		کلروفیل کل Total chlorophyll	محتوی نسبی آب برگ Relative water content	عملکرد ماده خشک Dry matter yield	محتوی پرولین Proline content	قند محلول Soluble sugars	درصد اسانس Essential oil	عملکرد اسانس Essential oil yield	فنل کل Total phenol	فلاونوئید Flanoid
تکرار Replication	3	0.11	43.19	2021.00	0.10	0.003	0.013	0.77	0.36	0.00006
آبیاری Irrigation (I)	2	3.90**	1979.69**	14524.2**	1.64**	9.25**	0.97**	36.06**	925.17**	0.0027**
خطای اول Ea	6	1.01	59.20	668.11	0.10	0.027	0.003	0.14	2.70	0.00006
محرک رشد Growth Stimulants (GS)	3	1.27**	626.52**	20901.5**	1.38**	0.27**	0.118**	17.61**	27.76**	0.00036**
I × GS	6	0.31**	188.89*	1077.5*	0.39**	0.08*	0.044**	3.02**	8.49*	0.00006ns
خطای دو Eb	27	0.04	175.74	397.7	0.10	0.02	0.123	0.42	2.84	0.00004
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		17.20	12.75	11.23	17.54	5.98	21.36	12.56	3.98	14.80

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

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

در این پژوهش، محلول‌پاشی پرولین باعث افزایش محتوی کلروفیل در بادرنجبویه در سطوح آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی شد که در واقع، محلول‌پاشی پرولین باعث افزایش بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی و حفاظت از رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش می‌شود (Ali et al., 2007). همچنین، محلول‌پاشی پرولین در گیاهان باعث افزایش هدایت روزنه‌ای شده و میزان دی‌اکسیدکربن را در فضای روزنه افزایش می‌دهد که به‌دنبال آن، میزان فتوسنتز گیاه افزایش یافته و افزایش عملکرد را به‌دنبال خواهد داشت (Ali et al., 2007). بهبود محتوی کلروفیل برگ در اثر کاربرد اسیدهای آمینه در مطالعات دیگری نیز ثابت شده است (Mehrafarin et al., 2015). محتوی کلروفیل منجر به تولید انرژی بالا و در نهایت، افزایش کیفیت و کمیت عملکرد گیاه خواهد شد (Li et al., 2000). گزارش شده است که محتوای کلروفیل a و b با استفاده از اسیدهای آمینه افزایش یافت (Shehata et al., 2011)،

محتوی نسبی آب برگ

گیاهان رشد کرده تحت تیمار محلول‌پاشی ملاتونین و آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۸۸/۱۲ درصد بالاترین محتوی نسبی آب برگ را به خود اختصاص داد، اختلاف بین این تیمار و تیمار محلول‌پاشی اسید فولیک تحت شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (با متوسط ۵۱/۸۷ درصد) (که کمترین محتوی نسبی آب برگ را به خود اختصاص داداده بود) معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج همچنین نشان داد که در دو شرایط آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، محلول‌پاشی ملاتونین و اسیدآمینه پرولین توانست در مقایسه با شاهد مربوطه به‌صورت معنی‌داری محتوی نسبی آب برگ را افزایش دهد (جدول ۳). با تشدید تنش کم‌آبی، جذب آب توسط برگ‌ها کاهش می‌یابد و از سوی دیگر، این کاهش سبب می‌شود تا گیاه نتواند محتوای آب برگ خود را حفظ کند و از این رو، با گذشت زمان، محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (Munns et al., 2006). کاهش محتوی نسبی آب در گیاه بادرنجبویه در مطالعات دیگری نیز

به اثبات رسیده است، در آن مطالعه، محلول‌پاشی پلورامین محتوی آب نسبی برگ را تحت شرایط تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری افزایش داد (Mohammadi et al., 2021).

عملکرد ماده خشک

بر اساس نتایج تحقیق حاضر، محلول‌پاشی با ملاتونین و اسیدآمینه پرولین تحت شرایط آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب با متوسط ۷۹۳/۷۹ و ۷۴۸/۹۶ کیلوگرم در هکتار بالاترین و شاهد محلول‌پاشی تحت شرایط ۴۰ درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۲۹۳/۴۷ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد ماده خشک را به خود اختصاص داد (جدول ۳). در این بررسی، محلول‌پاشی ملاتونین و آمینواسید پرولین در هر سه شرایط رطوبتی و محلول‌پاشی اسید فولیک تحت شرایط تنش ملایم و شدید، عملکرد ماده خشک را به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش داد. افزایش عملکرد ماده خشک در تیمارهای محلول‌پاشی تحت شرایط نرمال و تنش‌های کم‌آبی را می‌توان به اثر این تیمارها در بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی و افزایش محتوی نسبی آب برگ نسبت داد، بهبود این خصوصیات موجب افزایش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی و در نتیجه، افزایش عملکرد ماده خشک گیاه خواهد شد. نشان داده شده است که تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری موجب کاهش ماده خشک کل در گیاه بادرنجبویه شد، امّا پس از محلول‌پاشی پلورامین بهبود قابل توجهی در عملکرد ماده خشک این گیاه مشاهده شد (Mohammadi et al., 2021). در تحقیقی دیگر، بیشترین میانگین عملکرد ماده خشک در بادرنجبویه به تیمار آبیاری نرمال (بدون تنش) اختصاص داشت (Gordanic et al., 2021).

در این مطالعه، عملکرد ماده خشک واکنش مثبتی به محلول-پاشی ملاتونین نشان داد، گزارش شده است که در گیاهانی که با ملاتونین محلول‌پاشی شده‌اند، محتوی نیتروژن و فسفر در برگ در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال افزایش قابل توجهی نشان داده است (Al-Huqail et al., 2020). همچنین گزارش شده است که میزان تحمل گیاه به تنش کم‌آبی در تیمارهای کاربرد ملاتونین به‌واسطه خواص آنتی‌اکسیدانی این ماده است که به‌طور مستقیم با اثرات مضر گونه‌های فعال اکسیژن با تحریک افزایش تولید آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی مقابله می‌کند و در نتیجه، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه را بهبود می‌بخشد (Zahedi et al., 2021). در تحقیقی بر روی گیاه بادرنجبویه گزارش شد که تیمار ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین هم تحت شرایط آبیاری نرمال و هم تحت شرایط تنش خشکی، عملکرد ماده خشک را افزایش داد (Mohammadi et al., 2021).

در این مطالعه، کاربرد اسیدآمینه پرولین نیز موجب بهبود عملکرد ماده خشک گیاه بادرنجبویه شد، نتایج مشابهی توسط رحیمی و همکاران. (Rahimi et al., 2013)، روی گیاهان ریحان (*Ocimum basilicum*) و بادرنجبویه (Mehrafarin et al., 2015) گزارش شده است. اسیدهای آمینه به‌عنوان پیش‌سازها و اجزای تشکیل‌دهنده پروتئین‌ها در نظر گرفته می‌شوند که برای تحریک رشد سلولی مهم هستند. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که اسیدهای آمینه‌ای که به‌عنوان کود در گیاهان استفاده می‌شوند، فرایندهای تنفس گیاه، فتوسنتز و چرخه آب را ارتقا می‌دهند. علاوه‌براین، اسیدهای آمینه غلظت اسید آسکوربیک را افزایش داده و سنتز پروتئین را تسریع کرده و در نتیجه، رشد گیاه و تشکیل ماده خشک را در گیاهان افزایش می‌دهند (Dromantiene et al., 2013). گزارش شده است که اسیدآمینه با سنتز پروتئین و اسیدهای نوکلئیک و کاهش تخریب آن‌ها، باعث بهبود عملکرد گیاه کرفس کوهی (*Celeriac plant*) در شرایط تنش خشکی می‌شوند (Salwa & Osama, 2014). در مطالعه‌ای بر روی سویا (*Glycine max*) مشاهده شد که تیمارهای اسیدهای آمینه به‌طور قابل توجهی صفات رشد اندام هوایی و وزن تر و همچنین، عملکرد غلاف را بهبود می‌بخشد (Saeed et al., 2005).

در این آزمایش مشاهده شد که اسید فولیک عملکرد ماده خشک گیاه را بهبود بخشید، اظهار شده است که مصرف اسید فولیک به‌دلیل وجود عنصر آهن در ساختمان آن می‌تواند با تأمین این عنصر از طریق برگ عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Nardi et al., 2002). همچنین، محلول‌پاشی برگی اسیدهای آمینه، بازده میزان جذب نیتروژن از خاک را توسط گیاه افزایش داده و تا حدی موجب کاهش آبشویی نیتروژن از خاک می‌شود (Liu et al., 2007). به‌طور کلی، اسیدهای آمینه موادی هستند که موجب تحریک متابولیسم و فرایندهای سوخت‌وساز متابولیکی در جهت افزایش کارایی گیاهان در جهت استفاده از عوامل محیطی می‌شوند (Faten et al., 2010).

محتوی پرولین

مقایسه میانگین تیمارهای اثر متقابل نشان داد، اگر چه محتوی پرولین در گیاهان محلول‌پاشی شده با پرولین تحت شرایط آبیاری ۴۰

درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۲/۶۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بالاترین محتوی پرولین را به خود اختصاص داد، امّا اختلاف بین این تیمار و تیمارهای محلول‌پاشی ملاتونین و اسید فولیک تحت تیمار آبیاری ۴۰ درصد و همچنین محلول‌پاشی اسید فولیک تحت شرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی معنی‌دار نبود، کمترین محتوی پرولین نیز با متوسط ۱/۰۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به شاهد محلول‌پاشی تحت تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی ثبت شد، که با تیمارهای محلول‌پاشی ملاتونین تحت تیمارهای آبیاری بعد از ۶۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی از لحاظ محتوی پرولین در یک سطح قرار داشتند و اختلاف بین آن‌ها معنی‌دار نبود. نتایج تحقیق حاضر همچنین نشان داد که تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی مواد محرک رشد به‌خصوص پرولین، مقدار تولید پرولین را تشدید کرد (جدول ۳).

P5CS، یک ژن مهم درگیر در بیوسنتز پرولین است که بیان آن تحت شرایط تنش خشکی در گیاهان مختلف تسریع می‌شود (Nasirzadeh et al., 2021). گزارش شده است که تحت شرایط تنش کم‌آبی پرولین و قندهای محلول در گیاهان، نقش تنظیم اسمزی، انتقال سیگنال، حفظ تعادل ردوکس و ثبات ساختار سلولی را در گیاهان را بر عهده دارند (Ghafari et al., 2019). چندین مطالعه نشان داده‌اند که پرولین و قندهای محلول در تحمل به خشکی و سازگاری در طیف گسترده‌ای از گونه‌های گیاهی نقش دارند (Abid et al., 2018). در مطالعه نوبل آموا و سیو (Noble Amoah & Seo, 2021) با تشدید تنش کم‌آبی بر محتوی پرولین برگ گندم (*Triticum avestivum*) افزوده شد. در این بررسی، تیمار ملاتونین اثر مثبتی بر افزایش محتوی ملاتونین در سطوح مختلف تنش کم‌آبی داشت. ملاتونین ممکن است، سطح پرولین را با القای بیان پیرولین-۵-کربوکسیلات سنتتاز ۱ (P5CS1)، آنزیمی که در بیوسنتز پرولین دخیل است، افزایش دهد (Alyammahi & Gururani, 2020). در تحقیقی بر روی ذرت، بیشترین محتوی پرولین برگ به شرایط تنش شدید خشکی (FC = ٪۴۰-۴۵) و تیمار با ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین اختصاص یافت (Ahmad et al., 2019).

تأثیر مثبت اسیدآمینه بر محتوی پرولین ممکن است به‌دلیل نقش آن در ساخت DNA، RNA و پروتئین مورد نیاز برای تشکیل آنزیم-هایی باشد که به‌شدت مورد نیاز برای فعالیت حیاتی و افزایش تقسیم سلولی است که منجر به افزایش این فعالیت این آنزیم تحت شرایط تنش باشد (Baqir & AL-Naqeeb, 2019).

در این بررسی، محلول‌پاشی پرولین در شرایط تنش خشکی باعث افزایش غلظت پرولین درون‌سلولی شد. نشان داده شده است که پرولین نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاهان به تنش دارد. نتایج پژوهش‌های محققین مختلف در زمینه محلول‌پاشی پرولین در گیاهان گل رز (*Rosa hybida*) (Kumar et al., 2010) و یونجه (*Medicago sativa*) (Hayat et al., 2012) نشان دادند که مقدار پرولین در اثر تیمارهای محلول‌پاشی افزایش نشان داده است.

محتوی قندهای محلول

نتایج مقایسه میانگین تیمارهای اثر متقابل آبیاری با محلول‌پاشی مواد محرک رشد از لحاظ اثر بر محتوی قند محلول نشان داد که محلول‌پاشی مواد ملاتونین، پرولین و اسید فولیک تحت تیمار آبیاری بعد از ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب با متوسط ۵/۰۳، ۵/۰۴ و ۴/۹۱ میلی‌گرم بر لیتر، بالاترین و شاهد محلول‌پاشی تحت تیمار آبیاری ۸۰ درصد با متوسط ۳/۲۲ درصد، کمترین محتوی قند محلول را به خود اختصاص دادند. در این آزمایش، اگر چه تنش کم‌آبی محتوی قندهای محلول را افزایش داد؛ امّا محلول‌پاشی مواد محرک رشد به‌خصوص ملاتونین در هر سطح خشکی به‌صورت معنی‌داری بر محتوی این ماده در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی افزود (جدول ۳). یکی از راهکارهای گیاهان برای مقابله با تنش کم‌آبی، افزایش محتوی اسمولیت‌های سازگار مانند قند محلول است، با افزایش محتوی قندهای محلول پتانسیل اسمزی داخل گیاه و سلول منفی‌تر از محیط خاک شده و گیاه می‌تواند از طریق ریشه آب جذب کند. در مطالعه تور و همکاران (Toor et al., 2006)، کاربرد کودهای آلی (کود دامی) موجب افزایش میزان قند و کربن در گیاه گوجه‌فرنگی شد. همچنین گزارش شده است که اسید فولیک مشابه هورمون جیبرلین، آلفا آمیلاز و دیگر آنزیم‌های هیدرولیزکننده را تلقیح می‌کند و موجب افزایش کربوهیدرات‌ها و سطح آنتوسیانین می‌شود (Remon et al., 2000). در مطالعه حشمتی و همکاران (Heshmati et al., 2021)، محلول‌پاشی ملاتونین تحت شرایط نرمال و تنش کم‌آبی محتوی قندهای را در گیاه گلرنگ افزایش داد.

درصد اسانس

نتایج نشان داد که محلول‌پاشی ملاتونین و پرولین تحت شرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب با متوسط ۰/۸۱ و ۰/۸۷

درصد، بالاترین درصد اسانس را بـه خـود اختصـاص دادنـد، شـاهد و همچنین محلول‌پاشی اسـیدآمینه پـرولین تحـت شـرایط آبیـاری ۸۰ درصد ظرفیت هر دو با متوسط ۰/۲۷ درصد، کمترین درصد اسانس را به خود اختصاص دادند، هر چند اختلاف بین ایـن تیمـار و تیمارهـای شاهد محلول‌پاشی، محلول‌پاشـی آمینواسـید پـرولین و اسـید فولیـک تحت تیمار آبیاری بعـد از ۴۰ درصـد ظرفیـت زراعـی از نظـر درصـد اسانس معنی‌دار نبود. در این بررسی، اگر چه با تشدید تنش کم‌آبی بر درصـد اسـانس افـزوده شـد؛ امّـا محلول‌پاشـی مـواد محـرک رشـد به‌خصوص ملاتونین در هر سه سطح آبیاری اثر مثبتی بر سنتز اسانس داشته و مقدار تولید این متابولیت را افزایش داد. تنش خشـکی سـبب افزایش درصد اسانس گیاهان دارویی مختلف می‌شود، زیرا تحت تأثیر تنش خشکی مقدار فنل‌ها و فلاونوئیدها که از اجـزای تشـکیل‌دهنده اسـانس‌هـای گیاهـان دارویـی هسـتند، افـزایش مـی‌یابـد (Khorasaninejad et al., 2011). بهبـود درصـد اسـانس در ایـن آزمایش، ممکـن اسـت بـه‌دلیـل اثـر مثبـت ایـن تیمارهـا بـر سـنتز متابولیت‌های ثانویه در گیاه باشند که در بهبود مقاومت به تـنش‌هـای محیطی در گیاهان نقـش دارنـد (Nguyen & Niemeyer, 2010). در تحقیقی، تنش آبی بر محتوای اسانس برگ اثر مثبت داشت، امّا بر عملکرد قسمت هـوایی بادرنجبویـه و خصوصـیات مورفولـوژیکی اثـر منفی نشان داد (Gordanic et al., 2021). گزارش شـده اسـت کـه محتوای سیترونلال، نرال، دلتاکادینن، ژرماکرین و ژرانیال در پاسخ به کاربرد اسید آمنیه آمینولفورت و فسنوترن در بادرنجبویه افزایش یافت (Mehrafarin et al., 2015). محتـوای اسـانس نیـز بـا اسـتفاده از کادوستیم و کود شیمیایی افزایش یافت. بهبود درصـد اسـانس در اثـر کاربرد اسیدهای آمینه (Aminolforte) در گیاهـان دارویـی بـر روی بابونـه آلمـانی (*Matricaria recutita* L.) (Golzadeh et al., 2011) نیز گزارش شده است.

عملکرد اسانس

نتایج نشان داد که محلول‌پاشی ملاتونین و پرولین تحت شـرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بـه‌ترتیـب بـا متوسـط ۶/۴۶ و ۶/۴۶ کیلوگرم در هکتار بالاترین و شاهد محلول‌پاشی تحت تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی با متوسـط ۰/۸۸ کیلـوگرم در هکتـار، کمتـرین مقـدار عملکرد اسانس را به خود اختصاص دادنـد، در ایـن بررسـی عملکـرد اسانس، واکنش مثبتی به محلول‌پاشی مواد محـرک رشـد نشـان داد، به¬طوری‌که محلول‌پاشی ملاتونین در هر سه سطح آبیاری، عملکـرد اسانس را به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش داد (جـدول ۳).

با توجه به اینکه عملکرد اسانس از دو جـزء وزن مـاده خشـک و درصد اسانس تشکیل شده است، بهبود عملکرد اسانس در تیمارهـای محلول‌پاشی را می‌توان به اثر مثبت این تیمارها بـر اجـزای عملکـرد اسانس نسبت داد. اگرچه بیوسنتز اسانس در گیاهان تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است، امّا عوامـل محیطـی نیـز تـأثیر بسـزایی در تولیـد ایـن محصولات دارند (Sadeghi et al., 2014). گزارش شـده اسـت کـه تمام اسانس‌های اصلی بادرنجبویه در ابتدا با قـرار گـرفتن در معـرض تنش خفیف آبی (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند، امّا کاهش قابل تـوجهی در ایـن صـفت تحـت شـرایط تـنش خشکی (آبیاری تا ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) گزارش شد (Mohasseli et al., 2020). کاهش محتوای اسـانس در نتیجـه کم‌آبـی شـدید در بابونه (*Matricaria chamomilla*) مشاهده شده است (Razmjoo et al., 2008). درحالی‌که سـوتومایور و همکـاران (Sotomayor et al., 2004) گزارش کردند که حداکثر تولیـد مـاده خشـک گیـاهی و عملکرد اسانس در گیاه آویشن (*Thymus vulgaris*) در تیمـار تـنش خشکی ملایم به‌دست آمد که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. بـا این حال، بسته به گونه گیاهی، تنش خشکی می‌تواند اثرات افزایشـی و کاهشی داشته و یا حتی تأثیری بر میزان تولید اسانس نداشته باشد. در تحقیقی، تنش خشکی ملایم باعث افزایش مقدار اسانس شد، امّا با افزایش شدت تنش خشکی، محتوای اسانس به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Gholinezhad, 2017). مطابق نتایج تحقیـق حاضـر، علـوی سـامانی و همکـاران (Alavi-Samani et al., 2015) همچنـین گزارش کردند که تنش خشکی متوسـط منجـر بـه افـزایش عملکـرد اسانس آویشن شد. در تحقیقی، اثر تنش کم‌آبی قبـل از برداشـت بـر خصوصیات رویشی و اسانس برگ گیاه بادرنجبویه بررسی و مشـاهده شد که تنش آبی اثر معنی‌داری بر محتوای اسانس در برگ‌های گیـاه داشته است. در این مطالعه، بیشترین میانگین عملکرد اسانس در تیمار تنش ملایم کم‌آبی به‌دست آمد (Gordanic et al., 2021). گـزارش شده است که تنش شدید خشکی باعث کاهش زیسـت‌توده گیـاهی و عملکرد اسانس شوید (*Anethum graveolens*) می‌شـود (Amiri et al., 2014) که این یافته‌ها با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. تنش خشکی ناشی از کاهش فتوسـنتز گیـاهی باعـث کـاهش تولیـد مـاده

خشک و عملکرد دانه شده و در نتیجه، عملکرد اسانس نیز کاهش می یابد (Gholinezhad, 2017).

محتوی فنل کل

نتایج مقایسه میانگین فنل کل تیمارهای برهم‌کنش آبیاری با محلول‌پاشی مواد محرک رشد نشان داد که محلول‌پاشی ملاتونین، اسید فولیک و آمینو اسید پرولین تحت تیمار آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب با متوسط ۰/۵۰ و ۰/۵۰ و ۰/۴۹ میلی‌گرم اکی والان‌های اسید گالیک در۱۰۰ گرم عصاره، بالاترین و شاهد محلول-پاشی و اسید فولیک تحت تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۰/۳۲ و ۰/۳۳ میلی گرم اکی والان‌های اسید گالیک در۱۰۰ گرم عصاره، کمترین محتوی فنل کل را به خود اختصاص داد. در این بررسی، تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی مواد محرک رشد به‌خصوص ملاتونین، اثر هم‌افزایی بر افزایش محتوی فنل کل داشت (جدول ۳).

در تحقیقی دیگر، محلول‌پاشی پلورامین و تلقیح *P. fluorescens* PF-135 به‌دلیل افزایش RWC، فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانی و کاهش محتوای مالون دی آلدئید و پراکسید هیدروژن منجر به تحمل بالاتری نسبت به شرایط تنش کمبود آب در گیاه شوید (*Anethum graveolens*) شد. علاوه‌براین، تنش کمبود آب منجر به افزایش اسید کافئیک، رزمارینیک اسید، محتوای اسانس، پرولین و محتوی قند کل شد و استفاده از پلورامین و تلقیح P. fluorescens PF-135 کاهش محتوای این ترکیبات را نشان داد (Amiri et al., 2014).

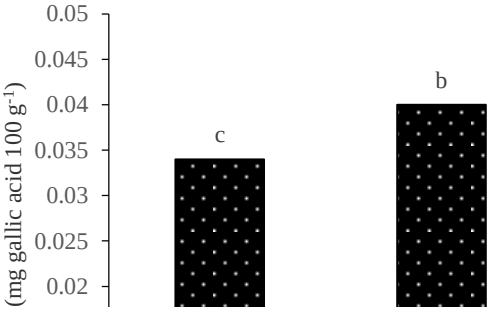
به نظر می‌رسد که کاربرد ملاتونین با افزایش سطح رونوشت برداری و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان توانایی گیاه را برای مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی را بهبود می-بخشد، نشان داده شده است که کاربرد ملاتونین به‌صورت قابل توجهی تولید پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل را کاهش می‌دهد (Zhang et al., 2014). یانگ و همکاران (Yang et al., 2018) گزارش کردند که کاربرد ملاتونین به‌صورت اسپری و یا همراه با آب آبیاری باعث کاهش خسارت به سیستم فتوسنتزی گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) می‌شود.

در آزمایشی بر روی گیاه شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra*) مشاهده شد که کاربرد اسیدهای آمینه، محتوی کلروفیل برگ را در این گیاه افزایش داد (Soltani et al., 2017). همچنین در تحقیقی دیگر، کاربرد اسیدهای آمینه محتوی فنل را در آویشن افزایش داد (Reda et al., 2005). افزایش محتوی فنل در اثر کاربرد اسید فولیک بر روی گیاه سرخار گل (*Echinacea angustifolia*) (Agha Alikhani et al., 2013) و کتان (*Linum usitatissimum*) گزارش شده است (Bakry et al., 2013). افزایش محتوی ترکیبات فنلی با افزایش میزان کربوهیدرات‌ها در گیاه ارتباط مستقیم دارد، اسکلت مورد نیاز برای سنتز ترکیبات فنلی کربوهیدرات‌ها هستند، لذا افزایش در مقدار آن‌ها به‌عنوان افزایش پیش‌ماده برای ترکیبات فنلی است (Nguyen & Niemeyer, 2010).

محتوی فلاونوئید کل

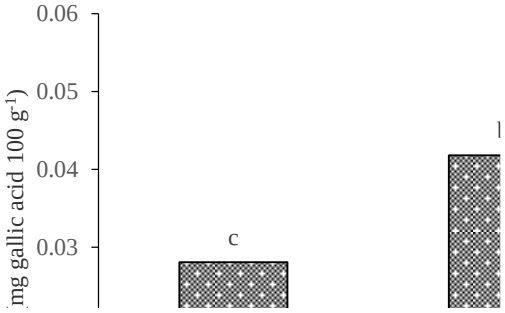
نتایج مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری نشان داد که با تشدید تنش کم آبی بر محتوی فلاونوئید برگ افزوده شد، در این مطالعه، تیمار آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، محتوی فلانوئید را در مقایسه با سطوح ۶۰ و ۸۰ درصد به‌ترتیب ۲۹/۹۰ و ۹۳/۲۳ درصد افزایش داد (شکل ۱). یکی از فعال‌ترین متابولیت‌های ثانویه در گیاهان، فلاونوئیدها هستند. آن‌ها یک سیستم آنتی‌اکسیدانی ثانویه را تشکیل می‌دهند که در نتیجه کاهش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی فعال می شود (Agati et al., 2012). این مواد می‌توانند با مکان‌یابی و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد قبل از آسیب رساندن به سلول‌ها، به عنوان جاذب ROS عمل کنند و بنابراین، برای گیاهان تحت شرایط محیطی نامطلوب مهم هستند (Løvdal et al., 2010). افزایش قابل توجه در سطح فلاونوئیدها به‌دنبال تنش‌های زیستی و غیر زیستی مانند زخم، خشکسالی، سمیت فلزات و تنش کمبود عناصر غذایی مشاهده شده است (Agati et al., 2012).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که محلول‌پاشی ملاتونین، اسیدآمینه پرولین و اسید فولیک محتوی فلاونوئید را در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۱۷/۶۴، ۲۳/۳۵ و ۳۲/۳۵ درصد افزایش دادند (شکل ۲). گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید فولیک از طریق سازوکارهایی نظیر انحلال ویتامین‌ها، ایزو آنزیم‌ها، هورمون‌ها و آنتی بیوتیک‌های طبیعی، سنتز آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز را فعال و در نهایت، موجب افزایش محتوی فلاونوئید در گیاه می‌شود (Salehi et al., 2014). همچنین در تحقیقی دیگر، محلول‌پاشی(پرولین به‌صورت معنی‌داری بر محتوی فلانوئید در گیاه مرزه (*Satureia montana*)افزود (Mohammadi Khalifelouiy et al., 2020).



شکل ۱- مقایسه میانگین سطوح آبیاری از لحاظ اثر بر محتوی فلانوئید

Fig. 1- Mean comparison of irrigation treatments in terms of flavonoid content



شکل ۲- مقایسه میانگین تیمارهای محرک رشد از لحاظ اثر بر محتوی فلانوئید

Fig. 2- Mean comparison of growth stimulants treatments in terms of flavonoid content

جدول ۳-مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در بادرنجبویه تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محرک‌های رشد

Table 3- mean comparison of measured characteristics in balm influenced by different irrigation regimes and growth stimulants

آبیاری Irrigation	محرک رشد Growth stimulants	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.g^{-1} FW)	محتوی نسبی آب برگ Relative water content (%)	عملکرد ماده خشک Dry matter yield (kg.ha^{-1})	محتوی پرولین Proline content (mg.g^{-1} FW)	قند محلول Soluble sugars (mg.l^{-1})	درصد اسانس essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg.ha^{-1})	فنل کل Total phenol (mg gallic acid.100 g^{-1})
آبیاری بعد از ۸۰٪ ظرفیت زراعی Irrigation after 80% FC	شاهد Control	1.37cd	70.00cd	502.86ef	1.017e	3.22h	0.275e	1.36ef	0.32h
	ملاتونین Melatonin	2.25a	88.12a	793.79a	1.407de	3.59f	0.450d	3.53b	0.35f
	آمینو اسید Amino acid	1.90b	84.37ab	748.96ab	1.700cd	3.53fg	0.275e	2.06de	0.35fg
	فولیک اسید Folic acid	1.20de	73.12bc	559.61de	2.027bc	3.33gh	0.400de	2.27d	0.33gh
آبیاری بعد از ۶۰٪ ظرفیت زراعی Irrigation after 60% FC	شاهد Control	1.05efg	58.75de	384.59g	1.830bcd	4.03e	0.687b	2.61cd	0.40e
	ملاتونین Melatonin	1.95b	75.00bc	665.92bc	1.457de	4.59c	0.810a	6.46a	0.45c
	آمینو اسید Amino acid	1.55c	80.62abc	679.44bc	1.830bcd	4.49cd	0.875a	6.46a	0.44cd
	فولیک اسید Folic acid	1.12def	70.00cd	558.21de	2.297ab	4.29d	0.600bc	3.39bc	0.42d
آبیاری بعد از ۴۰٪ ظرفیت زراعی Irrigation after 40% FC	Control شاهد	0.55h	60.00de	293.47h	1.500d	5.03a	0.300e	0.88f	0.47.bc
	ملاتونین Melatonin	0.90fg	56.25e	630.97cd	2.272ab	5.03a	0.525cd	3.32bc	0.50a
	آمینو اسید Amino acid	0.55h	58.25de	458.66fg	2.685a	4.91ab	0.400de	1.83de	0.49ab
	فولیک اسید Folic acid	0.80gh	51.87e	463.31fg	2.257ab	4.71bc	0.412de	1.91de	0.50a

در هر ستون میانگین دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ هستند.

Means in each column, followed by a similar letter(s), are not significantly different at the 5% probability level.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه مهم‌ترین صفت در گیاهان دارویی عملکرد اسانس است، در این بررسی بالاترین عملکرد اسانس تحت شرایط تنش کم‌آبی ملایم و محلول‌پاشی ملاتونین و اسیدآمینه پرولین به دست آمد، همچنین محلول‌پاشی ملاتونین در هر سه شرایط آبیاری عملکرد اسانس را در مقایسه با شاهد مربوطه افزایش داد، می‌توان اظهار داشت که تحت شرایط آبیاری و محلول‌پاشی ملاتونین، سنتز متابولیت‌های ثانویه و اسانس تسریع شده و موجب تولید حداکثر عملکرد اسانس شده است، بنابراین محلول‌پاشی ملاتونین و تنش ملایم کم‌آبی می‌تواند جهت دستیابی به حداکثر عملکرد اقتصادی در بادرنجبویه قابل توصیه باشد.

References

1. Abid, M., Ali, S., Qi, L.K., Zahoor, R., Tian. Z., Jiang, D., Snider, J.L., & Dai, T. (2018). Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Reports*, *8*, 4615-4625. https/ doi.org/10.1038/s41598-018-21441-7
2. Agha Alikhani, M., Iranpour, A., & Wind turbine, M. (2013). Changes in the crop and phytochemical yield of the herb, infected with urea and biofertilizer. *Phylum of Herbs*, *46*(2), 125-134.
3. Ahmad, S., Kamran, M., Ding, R., Meng, X., Wang, H., Ahmad, I., Fahad, S., & Han, Q. (2019). Exogenous melatonin confers drought stress by promoting plant growth, photosynthetic capacity and antioxidant defense system of maize seedlings. *Peer Journal*, *7*, 7793-7808. https/ doi.org/DOI: 10.7717/peerj.7793
4. Ahmadi, T., Shabani, L., & Sabzalian, M.R. (2019). Improvement in drought tolerance of lemon balm, *Melissa officinalis* L. under the pretreatment of LED lighting. *Plant Physiology and Biochemistry*, *139*, 548-557. https/ doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.021
5. Alavi-Samani, S.M., Kachouei, M.A., & Pirbalouti, A.G. (2015). Growth, yield, chemical composition, and antioxidant activity of essential oils from two thyme species under foliar application of jasmonic acid and water deficit conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, *56*(4), 411-420.
6. Al-Huqail, A.A., Khan, M.N., Ali, H.M., Siddiqui, M.H., Al-Huqail, A.A., AlZuaibr, F.M., Al-Muwayhi, M.A., Marraiki, N., & Al-Humaid, L.A. (2021). Exogenous melatonin mitigates boron toxicity in wheat. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *201*, 1-12.
7. Ali, Q., Ashraf, M., & Athar, H.R. (2007). Exogenously applied proline at different growth stages enhances growth of two maize cultivars grown under water deficit conditions. *Pakistan Journal of Botany*, *39*, 1133-1144.
8. Alyammahi, O., Gururani, M.A. (2020). Chlorophyll-a fluorescence analysis reveals differential response of photosynthetic machinery in melatonin-treated oat plants exposed to osmotic stress. *Agronomy*, *10*, 1520-1539.
9. Amiri, H., Emami, H., & Abdollahi, S.F. (2014). Effects of water stress on the quantity and quality of essential oil of dill (*Anethum graveolens* L.). *Plant Process and Function*, *3*(10), 143-149.
10. Amuamuha, L.A., Pirzad, A.R., & Hadi, H. (2012). Effect of varying concentrations and time of nano iron foliar application on the yield and essential oil of Pot marigold. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* , *3*(10), 2085-2090.
11. Arab S., Firoozabadi M., Gholami A., Aghari H.R., & Rahimi M. (2017). Effect of ascorbic acid and sodium nitroprusside associating on protein content, grain yield and some traits of safflower under irrigation stress. *Journal of Crop Production*, *9*(1), 69-87. https/ doi.org/10.22069/EJCP.2016.2957
12. Arnao, M.B., & Hernández-Ruiz, J. (2019). Role of melatonin to enhance phytoremediation capacity. *Applied Sciences*, *9*, 5293-5305. https://doi.org/10.3390/app9245293
13. Arnon, A. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
14. Ashraf, M., & Foolad, M.R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, *59*, 206-216.
15. Bakry, A.B., Mervat, SH., Sadak, H.T., Moamen, E.M., & Abd, E.L. (2013). Influence of humic acid and organic fertilizer on growth, chemical constituents, yield and quality of two flax seed cultivars grown under newly reclaimed sandy soils. *International Journal of Academic Research*, *5*(5), 125-134.

16. Baqir, H.A., & AL-Naqeeb, M.A.S. (2019). Effect of some amino acids on tillering and yield of three bread wheat cultivars. *Iraqi Journal of Agriculture Sciences*. *50*, 20-30.
17. Clevenger, J. F. (1928) Apparatus for the determination of volatile oil, *Journal of Pharmaceutical*, 17. 345–349
18. Cui, G., Zhao, X., Liu, S., Sun, F., Zhang, C., & Xi, Y. (2017). Beneficial effects of melatonin in overcoming drought stress in wheat seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, *118*, 138-149. https/ doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.06.014
19. Donghong, W., Qinghua, S., Xiufeng, W., Min, W., Jinyu, H., Jun, L., & Fengjuan, Y. (2010). Influence of cow manure vermicompost on the growth, metabolite contents, and antioxidant activities of Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *Chinensis*). *Biology and Fertility of Soils*, *46*, 689-696.
20. 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-Agriculture*, *100*(1), 57-62.
21. Faten, S.A., Shaheen, A.M., Ahmed, A.A., & Mahmoud, A.R. (2010). Effect of foliar application of amino acids as antioxidants of growth, yield and characteristics of squash. *Research Journal of Agriculture and Biological Science*, *6*(5), 583-588.
22. Gamze, O., Mehmet, D.K., & Mehmet A. (2005). Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *29*, 237-242
23. Ghafari, H., Tadayon, M.R., Nadeem, M., Cheema, M., & Razmjoo, J. (2019). Proline-mediated changes in antioxidant enzymatic activities and the physiology of sugar beet under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, *41*, 23-34.
24. Ghamarnia, H., Mousabeygi, F., & Arj, I. (2015). Lemon balm (*Melissa officinalis* L.) water requirement, crop coefficients determination and SIMDualKc model implementing. *European Journal of Medicinal Plants*, *5*(3), 281-296.
25. Ghafoor, R., Akram, N.A., Rashid, M., Ashraf, M., Iqbal, M., & Lixin, Z. (2019). Exogenously applied proline induced changes in key anatomical features and physio-biochemical attributes in water stressed oat (*Avena sativa* L.) plants. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *25*(5), 1121-1135. https://doi: 10.1007/s12298-019-00683-3. Epub 2019 Jul 15. PMID: 31564776; PMCID: PMC6745592.
26. Gholinezhad, E. (2017). Effect of drought stress and Fe Nano-fertilizer on seed yield, morphological traits, essential oil percentage and yield of dill (*Anethum graveolens* L.). *TEOP*, *20*(4), 1006-1017. https://doi.org/10.1080/0972060X.2017.1362999
27. Golzadeh, H., Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H., Fazeli, F., Qaderi, A., & Zarinpanjeh N. (2011). Effect of biostimulators compounds on quantitative and qualitative yield of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Seasonal Publication of Medicinal Plants*, *8*(1), 195-208. 41.
28. Gordanic, S., Radanovic, D., Lukic, M., Mrđan, S., Mikic, S., Prijic, Z., & Markovic, T. (2021). Influence of water stress prior to harvest on yield and essential oil content of pot grown lemon balm. *Natural Medicinal Materials*, *5*, 54-67. http://dx.doi.org/10.5937/leksir2141062G
29. Hargreaves, J.C., & Warman, P.R. (2009). The effects of municipal solid waste compost and compost tea on mineral element uptake and fruit quality of strawberries. *Compost Science and Utilization*, *17*(2), 85-94
30. 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.
31. Heshmati, S., Akbari, G. A., Soltani, E., Amini, M., Fathi Amirkhiz, K., & Maleki, K. (2021). Study the photosynthetic pigments and phenolic compounds of safflower in response to foliar application of melatonin under water deficit condition. *Plant Process and Function*, *10* (41), 279-294. (In Persian with English abstract). http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.41.14.4
32. Jamal Omidi, F., Mohajjel Shoja, H., & Sariri, R. (2018). Effect of water-deficit stress on secondary metabolites of *Melissa officinalis* L.: Role of exogenous salicylic acid. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, *16* (2), 121-134.
33. Kabiri, R., Hatami, A., Oloumi, B., & Naghizadeh, M. (2018). Foliar application of melatonin induces tolerance to drought stress in Moldavian balm plants (*Dracocephalum moldavica*) through regulating the antioxidant system. *Folia Horticulturae*, *30*(1), 155-167. https://doi.org/10.2478/fhort-2018-0016
34. Khan, M,T., Ahmed, S., Sardar, R., Shareef, M., Abbasi, A, Mohiuddin, M., Ercisli, S., Fiaz, S., Marc, R.A.,

Attia, K., Khan, N., & Golokhvast, K.S . (2022) Impression of foliar-applied folic acid on coriander (*Coriandrum sativum* L.) to regulate aerial growth, biochemical activity, and essential oil profiling under drought stress. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1005710. https/ doi.org/10.3389/fpls.2022.1005710

35. Khorasaninejad, S., Mousavi, A., Soltanloo, H., Hemmati, K., & halighi, A. (2011). The effect of drought stress on growth parameters, essential oil yield and constituent of peppermint. *Journal of Medicinal Plants Research*, *5*(22), 5360-5365.
36. Kumar, N., Pal, M., Singh, A., Sairam, R.K., & Srivasatava, G.C. (2010). Exogenous proline alleviates oxidative stress abd increase vase life in rose (*Rosa hybrida* L. Grand Gala). *Scientia Horticulturae*, *127*, 79-85. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.009
37. Liu, X.Q., Ko, K.Y., Kim, S.H., & Lee, K.S. (2007). Effect of amino acid fertilization on nitrate assimilation of leafy radish and soil chemical properties in high nitrate soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *39*, 269-281
38. Maksup, S., Roytrakul, S., & Supaibulwatana K. (2014). Physiological and comparative proteomic analyses of Thai jasmine rice and two check cultivars in response to drought stress. *Journal of Plant Interactions*, *9*, 43-55.
39. Mohammadi Khalifelouiy, Z., Abbasifar, A.R., Khadivi, A., & Akramian, M. (2020). The effect of proline and 24-epibrassinolide on growth indices and biochemical characteristics of the summer savory (*Satureja hortensis* L.). The *Journal of Plant Research*, *32*(4), 925-940. (In Persian)
40. Mohammadi, H., Saeedi, S., Hazrati, S., & Brestic, M. (2021). Physiological and phytochemical responses of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) to pluramin application and inoculation with *Pseudomonas fluorescens* PF-135 under water-deficit stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, *68*, 909–922
41. Mohasseli, V., & Sadeghi, S. (2019). Exogenously applied sodium nitroprusside improves physiological attributes and essential oil yield of two drought susceptible and resistant species of *Thymus* under reduced irrigation. *Industrial Crops and Products*, *130*, 130‑136. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.058
42. Mohasseli, V., Farbood, F., & Moradi, A. (2020). Antioxidant defense and metabolic responses of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) to Fe-nano-particles under reduced irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*, *149*, 112338. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112338
43. Munns, R., James, R.A., & Lauchli, A. (2006) Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal Experimental Botany*, *57*, 1025 -1043.
44. Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M., & Ertani, A. (2015). Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*. *73*, 18-23. https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0006
45. Nguyen, P.H.M., Kwee, E.M., & Niemeyer, E.D. (2010). Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. *Food Chemistry*, *123*(4), 1235-1241
46. Noble Amoah, J., & Seo, W.Y. (2021). Effect of progressive drought stress on physio-biochemical responses and gene expression patterns in wheat. *Biotechnology*, *11*, 440-428.
47. Rahimi, A., Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H., & Khalighi-Sigarooodi, F. (2013). Effects of biostimulators and bio-fertilizers on morphological traits of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Annals of Applied Biology Research*, *4* (5), 146 - 151.
48. Ramak, M., Khavari Nejad, R., Hidari Sharifabad, H., Rafiee, M., & Khademi, K. (2014). The effect of water stress on dry weight and photosynthetic pigments in two sainfoin species. *Iranian Journal of Rangelands Forests Plant Breeding and Genetic Research*, *14*(2), 91-80. (In Persian with English abstract)
49. Razmjoo, K., Heydarizadeh, P., & Sabzalian, M.R. (2008). Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of *Matricaria chamomile*. *International Journal of Agriculture and Biology*, *10*, 451‑454.
50. Remon, S., Ferrer, A., Marquina, P., Burgos, J., & Oria, R. (2000). Use of modified atmospheres to prolong the postharvest life of burlat cherries at two different degrees of ripeness. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *80*(10), 1552-1545.
51. Ronga, D., Biazzi, E., Parati, K., Carminati, D., Carminati, E., & Tava, A. (2019). Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy*, *9*, 1-22. https://doi.org/10.3390/agronomy9040192
52. Saeed, M.R., Kheir, A.M., & Al-Sayed, A.A. (2005). Supperssive effect of some amino acids against *Meloidogyne incognita* on soybeans. *Journal of Agricultural Science*, *30* (2), 1097 - 1103.

53. Salehi, A., Fallahi, S., Iran Pour, R., & Abbasi Sorkhi, A. (2014). Effect of time of fertilizer use in combination with cow manure on growth, yield and yield components of (*Nigella sativa* L.). *Agricultural Ecology*, *6*, 495-507.
54. Salwa, A.R.H., & Osama, A.M.A. (2014). Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. *Annals of Agricultural Sciences*, *59*, 133–145.
55. Shehata, S.M., Abdel-Azem, H.S., El-Yazied, A.A., & El-Gizawy, AM. (2011). Effect of foliar spraying with amino acids and seaweed extract on growth chemical constitutes, yield and its quality of celeriac plant. *European Journal of Scientific Research*, *58* (2), 257 - 65
56. Shi, H., Chen, K., Wei, Y., & He, C. (2016). Fundamental issues of melatonin-mediated stress signaling in plants. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 1124. https://doi.org/10.3389%2Ffpls.2016.01124
57. Soltani, F., Haddou, A., & Jahan Judge, N. J. (2017). Effect of glutamine, citric acid and malic acid on growth indices and *Glycyrrhiza glabra* morphology quality. *Journal of Cellular and Molecular Biology*, *14*, 5-15. https/ doi.org/10.1016/j.psj.2022.102343
58. Sotomayor, J.A., Martjnez, R.M., Garcia, A.J., & Jordan, M.J. (2004). *Thymus zygis* subsp. gracilis: Watering level effect on phytomass production and essential oil quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52* (17), 5418–5424.
59. Sultan, L. A., Mejía-Chang, M., Ogaya, R, Voltas J, Dawson, T. E, & Peñuelas J. (2015). The combined effects of a long-term experimental drought and an extreme drought on the use of plant-water sources in a Mediterranean forestGlob. *Global Change Biology*, *21*, 1213–1225.
60. Toor, R.K., Geoffrey, P.S., & Anuschka, H. (2006). Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal Food Compost Analysis*, *19*, 20 - 27.
61. Velioglu, Y. S., Mazza, G., Gao, L., & Oomah, B. D. (1998) Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *46*, 4113-4117. https://doi.org/10.1021/jf9801973
62. Yakhin, O.I., Lubyanov, A.A., Yakhin, I.A., & Brown, P.H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 2049-2061. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049
63. Yang, S., Vanderbeld, B., Wan, J., & Huang, Y. (2010). Narrowing down the targets: Towards successful genetic engineering of drought tolerant crops. *Molecular Plant*, *3*, 469–490.
64. Zahedi, S.M., Hosseini, M.S., Fahadi Hoveizeh, N., Gholami, R., Abdelrahman, M., & Tran, L. S.P. (2021). Exogenous melatonin mitigates salinity-induced damage in olive seedlings by modulating ion homeostasis, antioxidant defense, and phytohormone balance. *Physiologia Plantarum*, *173*, 1682–1694.https://doi. 10.1111/ppl.13589
65. Zhang, N., Sun, Q., Zhang, H., Cao, Y., Weeda, S., Ren, S.H., & Guo, Y.D. (2015). Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. *Journal of Experimental Botany*, *66*, 647-56. https/ doi.org/10.3390/ijms24087447

Contents

Evaluation of Qualitative Traits of Forage Turnip (*Brassica rapa* var. *rapa*) in Intercropping with Basil (*Ocimum basilicum*) and Influence of Biochar and Vermicompost Application **1**
Roma Kalhor Monfared, Mohammad Reza Ardakani, Farzad Paknejad, Mansour Sarajuqi and Hassan Ali Naghdi Badi

Effects of Tillage Types on Morpho-Physiological Characteristic and Forage Quality of Vetch (*Vicia pannonica*) in Rainfed Condition **19**
Seyed Shahram Elyasi, Alireza Pirzad, Jalal Jalilian, Ebrahim Roohi and Adel Siosemardeh

The Effect of Seed Inoculation with *Funneliformis mossea* Mycorrhiza on Some Morphophysiological and Biochemical Traits of Barley (*Hordeum vulgare* L.) Under Salinity Stress Conditions **47**
Fatemeh Sadat Ghabous, Seyed Abdolreza Kazemeini and Mehdi Zarei

The Effects of Climate Change on Yield and Phenological Stages of Potato Plant (Case Study: South of Kerman Province) **63**
Fateme Bayatani and Keramat Nezhadafzali

The Evaluation of Planting Direction on the Consumption of Resources and Soil Nutrients in Sunflower (*Helianthus annus* L.) and Cow Pea (*Phaseolus vulgaris* L.) Intercropping **81**
Elham Vaziri, Mehdi, Dahmardeh and Issa. Khammari

The effect of animal manure and humic acid on some physiological traits of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under irrigation water salinity conditions. **97**
Mahboobeh Sardar, Mohammad Ali Behdani, Seyd Vahid Eslami and Gholam Reza Zamani

The Effect of Chemical and Non-Chemical Nutrition Systems on some Growth Traits, Yield and Yield Components of Hashemi Variety Rice (*Oryza sativa* L.) - A Case Study in Lahijan City, Gilan Province **115**
Alireza Nosrati, Hamid Reza Doroudian, Sirous Bidarigh, Seyyed Mostafa Sadeghi and Majid Ashouri

Effect of Different Levels of Pelleted Poultry Manure and Chemical Fertilizer on Fodder Quality and Maize (*Zea mays* L.) Grain Yield **129**
Sara Darabi, Gholamreza Heidari, Shiva Khalesro and Hossein Jahani-Azizabadi

The Effect of Seaweed Extract (*Ascophyllum nodosum*) on Quantitative and Qualitative Yield of Soybean **147**
Safiyeh Arab, Mehdi Baradaran Firouzabadi, Ahmad Gholami and Mostafa Haydari

Monitoring and Accounting of Ecological Sustainability of Sistan's Oil Crop using Emergy and Economic Indicators **159**
Narges Pordel, Mohamamd Reza Asgharipour and Esmaeel Seyedabadi

The Effect of some Plant Growth Stimulants on some Physiological and Biochemical Properties of Lemon Balm (*Melissa officinalis*. L) under Different Irrigation Regimes **181**
Mustafa Yasini, Soran Sharfi and Saman Yazdan Seta

Journal of Agroecology (Quarterly)

Vol. 16 No. 1 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

Vol. 16 No. 1

2024

Journal of Agroecology (Quarterly)

ISSN: 2008-7713

Contents

Evaluation of Qualitative Traits of Forage Turnip (*Brassica rapa* var. *rapa*) in Intercropping with Basil (*Ocimum basilicum*) and Influence of Biochar and Vermicompost Application 1
Roma Kalhor Monfared, Mohammad Reza Ardakani, Farzad Paknejad, Mansour Sarajuqi and Hassan Ali Naghdi Badi

Effects of Tillage Types on Morpho-Physiological Characteristic and Forage Quality of Vetch (*Vicia pannonica*) in Rainfed Condition 19
Seyed Shahram Elyasi, Alireza Pirzad, Jalal Jalilian, Ebrahim Roohi and Adel Siosemardeh

The Effect of Seed Inoculation with *Funneliformis mossea* Mycorrhiza on Some Morphophysiological and Biochemical Traits of Barley (*Hordeum vulgare* L.) Under Salinity Stress Conditions 47
Fatemeh Sadat Ghabous, Seyed Abdolreza Kazemeini and Mehdi Zarei

The Effects of Climate Change on Yield and Phenological Stages of Potato Plant (Case Study: South of Kerman Province) 63
Fateme Bayatani and Keramat Nezhadafzali

The Evaluation of Planting Direction on the Consumption of Resources and Soil Nutrients in Sunflower (*Helianthus annus* L.) and Cow Pea (*Phaseolus vulgaris* L.) Intercropping 81
Elham Vaziri, Mehdi, Dahmardeh and Issa. Khammari

The effect of animal manure and humic acid on some physiological traits of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under irrigation water salinity conditions. 97
Mahboobeh Sardar, Mohammad Ali Behdani, Seyd Vahid Eslami and Gholam Reza Zamani

The Effect of Chemical and Non-Chemical Nutrition Systems on some Growth Traits, Yield and Yield Components of Hashemi Variety Rice (*Oryza sativa* L.) - A Case Study in Lahijan City, Gilan Province 115
Alireza Nosrati, Hamid Reza Doroudian, Sirous Bidarigh, Seyyed Mostafa Sadeghi and Majid Ashouri

Effect of Different Levels of Pelleted Poultry Manure and Chemical Fertilizer on Fodder Quality and Maize (*Zea mays* L.) Grain Yield 129
Sara Darabi, Gholamreza Heidari, Shiva Khalesro and Hossein Jahani-Azizabadi

The Effect of Seaweed Extract (*Ascophyllum nodosum*) on Quantitative and Qualitative Yield of Soybean 147
Safiyeh Arab, Mehdi Baradaran Firouzabadi, Ahmad Gholami and Mostafa Haydari

Monitoring and Accounting of Ecological Sustainability of Sistan's Oil Crop using Emergy and Economic Indicators 159
Narges Pordel, Mohamamd Reza Asgharipour and Esmaeel Seyedabadi

The Effect of some Plant Growth Stimulants on some Physiological and Biochemical Properties of Lemon Balm (*Melissa officinalis*. L) under Different Irrigation Regimes 181
Mustafa Yasini, Soran Sharfi and Saman Yazdan Seta