نشریه علمی
بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)

جلد ۱۵ شماره ۳
پاییز ۱۴۰۲

(شماره پیاپی ۵۷)

شاپا: ۲۰۰۸-۷۷۱۳

عنوان مقالات

بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و نسبت برابری زمین در کشت مخلوط جایگزینی رازیانه (*Foeniculum vulgar* Mill.) و ماش (*Vigna radiata* L. Wilczek) ۴۳۹
محمدحسن هاتفی قرجیان، علیرضا کوچکی و مهدی نصیری محلاتی

بررسی تعاملات بین گونه‌ای بخش زیرزمینی در کشت مخلوط گیاه سویا (*Glycine max* (L.) Merrill) و دانه‌سیاه (*Guizotia abyssinica* Cass.) ۴۵۹
میثم نامداری، رحمت عباسی، همت‌الله پیردشتی و تازه زعفریان

تأثیر زمان هواده‌ی و نسبت بر برخی ویژگی‌های شیمیایی چای هوازی کودهای گاوی و ورمی‌کمپوست ۴۶۹
نیلوفر منتظمی، اکرم حلاج‌نیا، رضا خراسانی و امیر خوت

بررسی منابع کودی آلی و زیستی و زمان برداشت بر خصوصیات کمّی و کیفی مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) ۴۸۳
عبدالله جوانمرد، محمدرضا عباسیان، علی استادی و حانیه شیخیز

پایش پایداری بوم نظام‌های کشاورزی تولید محصولات زراعی روستای بلند استان سیستان و بلوچستان با استفاده از رهیافت تحلیل انرژی ۵۰۷
فرشاد گلشنی، محمدرضا اصغری‌پور، احمد قنبری و اسماعیل سیدآبادی

تأثیر کود گاوی و منابع مختلف تأمین کننده نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) ۵۲۹
رؤیا سعیدی، اعظم سیدی، بهاره پارسامطلق و حسن شکفته

تأثیر قارچ تریکودرما *Trichoderma longibrachiatum* و محلول‌پاشی کیتوزان بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در شرایط گلخانه‌ای ۵۴۵
مهتاب مری، همت‌الله پیردشتی، ارسطو عباسیان، زهرا نوری آکندی و مهرانوش امامیان طبرستانی

پاسخ حرارتی و نوری باقلا (*Vicia faba* L.) به تاریخ کاشت تابستانه در منطقه مازندران ۵۶۲
رمضان شریفی

مطالعه عوامل مؤثر بر جداشت از تنوع زراعی برنج (*Oryza sativa*) در جهت تأمین امنیت غذایی پایدار خانوارهای بندر انزلی، استان گیلان ۵۸۲
سمیه شیرازی و کوروش خوشبخت

بررسی پایداری زیست‌محیطی کشت توتون (*Nicotiana tabacum*) با رویکرد ردپای اکولوژیکی (موردمطالعه: توتون گرمخانه‌ای و سایه‌خشک در استان گلستان) ۶۰۹
عبدالحلیم کره، کریم نادری مهدیی، کاروان طازری و سید محمد جعفر اصفهانی

بررسی تناسب اقلیمی نخود (*Cicer arietinum* L.) براساس شاخص‌های دوره رشد و بارش در استان کردستان ۶۳۷
حمید جرافی، احمد قنبری، محمدرضا اصغری‌پور، جواد طائی سمیرمی و علی حسامی

نشریه بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)
دانشگاه فردوسی مشهد

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

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

جلد۱۵ شماره۳ پاییز ۱۴۰۲

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد
مدیر مسئول: دکتر علیرضا کوچکی، 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 گودرز احمدوند، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
دکتر مرتضی برمکی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی
دکتر محمد پسرکلی، استاد پژوهشی، دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه آریزونا
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 دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
دکتر حمید شاهنده، پژوهشگر علوم خاک، گروه علوم خاک و گیاهان زراعی، دانشگاه تگزاس A & M
دکتر منصور قربانپور، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک
دکتر علیرضا کوچکی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمد گلوی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
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

بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و نسبت برابری زمین در کشت مخلوط جایگزینی رازیانه (*Foeniculum vulgar* Mill.) و ماش (*Vigna radiata* L. Wilczek) ۴۲۹

محمدحسن هاتفی فرجیان، علیرضا کوچکی و مهدی نصیری محلاتی

بررسی تعاملات بین گونه‌ای بخش زیرزمینی در کشت مخلوط گیاه سویا (*Glycine max* (L.) Merrill) و دان‌سیاه (*Guizotia abyssinica* Cass.) ۴۴۹

میثم نامداری، رحمت عباسی، همت‌الله پیردشتی و فائزه زعفریان

تأثیر زمان هوادهی و نسبت بر برخی ویژگی‌های شیمیایی چای هوازی کودهای گاوی و ورمی‌کمپوست ۴۶۹

نیلوفر منتظمی، اکرم حلاج‌نیا، رضا خراسانی و امیر فتوت

بررسی منابع کودی آلی و زیستی و زمان برداشت بر خصوصیات کمّی و کیفی مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) ۴۸۳

عبدالله جوانمرد، محمدرضا عباسیان، علی استادی و حانیه شب‌خیز

پایش پایداری بوم نظام‌های کشاورزی تولید محصولات زراعی روستای بلند استان سیستان و بلوچستان با استفاده از رهیافت تحلیل امرژی ۵۰۷

فرشاد گلشنی، محمدرضا اصغری‌پور، احمد قنبری و اسماعیل سیدآبادی

تأثیر کود گاوی و منابع مختلف تأمین‌کننده نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) ۵۲۹

رؤیا سعیدی، اعظم سیدی، بهاره پارسامطلق و حسین شکفته

تأثیر قارچ تریکودرما *Trichoderma longibrachiatum* و محلول‌پاشی کیتوزان بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در شرایط کم‌آبیاری ۵۴۵

مهتاب میری، همت‌اله پیردشتی، ارسطو عباسیان، زهرا نوری آکندی و مهرانوش امامیان طبرستانی

پاسخ حرارتی و نوری باقلا (*Vicia faba* L.)، به تاریخ کاشت تابستانه در منطقه مازندران ۵۶۷

رمضان سرپرست

مطالعه عوامل مؤثر بر حفاظت از تنوع زراعی برنج (Oryza sativa) در جهت تأمین امنیت غذایی پایدار خانوارهای بندر انزلی، استان گیلان ۵۸۷

سمیه شیرازی وکوروس خوشبخت

بررسی پایداری زیست‌محیطی کشت توتون (*Nicotiana tabacum*) با رویکرد ردپای اکولوژیکی (موردمطالعه: توتون گرمخانه‌ای و سایه‌خشک در استان گلستان) ۶۰۹

عبدالحلیم کر، کریم نادری مهدیی، کاروان شانازی و سید محمد جعفر اصفهانی

بررسی تناسب اقلیمی نخود(*Cicer arietinum* L.) براساس شاخص‌های دوره رشد و بارش در استان کردستان ۶۲۷

حمید چراغی، احمد قنبری، محمد رضا اصغری‌پور، جواد طائی سمیرمی و علی حسامی

اسامی ارزیابان جلد ۱۵ شماره ۳ (پاییز ۱۴۰۲) نشریه بوم شناسی کشاورزی (به ترتیب الفبا)

دکتر محمدرضا اردکانی	دانشگاه آزاد اسلامی- کرج
دکتر سارا اسدی	دانش آموخته دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمد بنایان اول	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سهیل پارسا	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سید مهدی جوادزاده	دانشگاه آزاد اسلامی- ایرانشهر
دکتر حامد جوادی	دانشگاه پیام نور
دکتر محسن جهان	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سرور خرم دل	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر فریما دعائی	آموزشکده کشاورزی فنی و حرفه ای ساری
دکتر مهدی دهمرده	دانشگاه زابل
دکتر رضا دیهیم فرد	دانشگاه شهید بهشتی تهران
دکتر حمیدرضا ذبیحی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر سارا سنجانی	موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر
دکتر حسین کاظمی	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر امیر لکزیان	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر بختیار لله گانی	دانشگاه پیام نور
دکتر روح الله مرادی	دانشگاه شهید باهنر کرمان
دکتر عبدالمجید مهدوی دامغانی	دانشگاه شهید بهشتی تهران
دکتر سمانه نجیب نیا	دانشگاه فرهنگیان مشهد

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

Research Article
Vol. 15, No. 3, Fall 2023, p. 427-445

Evaluation of Yield, Yield Components, and Land Equivalent Ratio in Replacement Intercropping of Fennel (*Foeniculum vulgar* Mill.) with Mung Bean (*Vigna radiata* L. Wilczek)

Mohammad Hassan Hatefi Farajian[1], Alireza Koocheki[2*] and Mehdi Nassiri Mahallati[2]

Received: 02-03-2016
Revised: 08-09-2016
Accepted: 15-09-2016
Available Online: 15-09-2016

How to cite this article:
Hatefi Farajian, M. H., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2023). Evaluation of yield, yield components, and land equivalent ratio in replacement intercropping of fennel with mung bean. *Journal of Agroecology*, *15*(3), 427-445.
DOI: 10.22067/jag.v1i1.54301

Introduction

Intercropping as an approach for the development of sustainable agriculture systems pursues purposes such as creating ecological balance, further exploitation of resources, increasing the quantity and quality of yield reducing losses due to pests, diseases, and weeds, and reduceing the dependence of farmers to pesticides, to maintain product quality and marketability. Jahani et al. (2007) reported that intercropping of lentils and cumin has significantly increased the dry weight of vegetative organs, biological yield, 1000-seed weight, and number of seeds per cumin umbrella and seed yield. The legume/non-legume intercropping system produces more yields due to the beneficial use of resources. In a review of the fennel and fenugreek intercropping, intercropping of the two plants significantly increased the fennel seed yield compared with monoculture.

Materials and Methods

The experiment was conducted in the 2014-2015 growing season based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Experimental treatments were 25% mung bean + 75% fennel, 50% mung bean + 50% fennel, 75% mung bean + 25% fennel, monoculture of mung bean, and monoculture of fennel. Species were sown at the same time on 12/06/2015 in rows with a distance of 50 cm. At harvesting time, dry matter, seed yield and yield components of these crops were measured. Land equivalent ratios compared yield advantages of intercrops over monocultures. Seeds of fennel were analyzed for essential oil content.

Results and Discussion

The highest seed yield, biomass and essential oil of fennel for monoculture with 1460.4, 12286.4 and 50.4 kg per hectare respectively and the lowest values for 25% fennel + 75% mung bean treatment with 263.2, 5843.3 and 8.1 kg per hectare respectively were observed. Also, the highest seed yield and biomass of mung bean for monoculture with 2167.1 and 8900.5 kg per hectare, respectively and the lowest values for 25% fennel + 75% mung bean treatment with 740.5 and 2540.5 kg per hectare, respectively were observed. The highest essential oil contents of fennel, with 3.56%, was observed in a ratio of 50% fennel + 50% mung bean, and the lowest value was observed in 25% fennel + 75% mung bean, with 3.1%. It seems that interspecific competition between

1-Ph.D. Student of Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
(*- Corresponding author's Email: akooch@um.ac.ir)

fennel and mung bean due to the abiotic stresses (competition) led to increasing essential oil percent in intercrops. The highest essential oil yield of fennel was observed in monoculture, with 50.4 kg/ha, and the lowest value was observed in 25% fennel + 75% mung bean with 8.1 kg/ha. The highest mung bean harvest index was 28% in 25% mung bean + 75% fennel, and the lowest was observed in 50% mung bean + 50% fennel with 23.5%. Also, the highest fennel harvest index was observed with 12% in monoculture and the lowest in 25% fennel + 75% mung bean with 4.5%. The highest value of the total land equivalent ratio (1.07) was obtained in the ratio of 50% mung bean + 50% fennel, indicating 7 percent yield advantage of intercropping compared to pure stands of species of these two products compared to each other that represents of showing the more efficient use of land. The lowest value by intercrops of land equivalent ratio was observed in the ratio of 25% mung bean + 75% fennel, which was 9% lower than the monoculture.

Conclusion

In general, intercropping of fennel with mung bean had a positive effect on the biological and seed yield of the two species and the the percent and yield of fennel essential oil. So, in order to reduce the consumption of chemical fertilizers in sustainable agriculture and as for the nitrogen biological fixation ability of mung bean, intercropping this plant with fennel can increase resource efficiency and improve the quality and quantity yield of fennel.

Keywords: Biological nitrogen fixation, Essential oil yield, Medicinal plant, Seed yield

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز۱۴۰۲، ص ۴۴۵-۴۲۷

بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و نسبت برابری زمین در کشت مخلوط جایگزینی رازیانه (*Foeniculum vulgar* Mill.) و ماش (*Vigna radiata* L. Wilczek)

محمدحسن هاتفی فرجیان[۱]، علیرضا کوچکی[۲*] و مهدی نصیری محلاتی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۰۶/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۲۵

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر نسبت‌های جایگزینی کشت مخلوط گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgar* Mill.) با ماش (*Vigna radiata* L. Wilczek) بر برخی خصوصیات کمّی و کیفی این دو گیاه، آزمایشی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل: ۲۵ درصد ماش + ۷۵ درصد رازیانه، ۵۰ درصد ماش + ۵۰ درصد رازیانه، ۷۵ درصد ماش + ۲۵ درصد رازیانه و کشت خالص دو گیاه بود. نتایج نشان داد که اثر نسبت‌های کشت مخلوط رازیانه با ماش بر تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. بالاترین عملکرد دانه، زیست‌توده و اسانس رازیانه برای کشت خالص به‌ترتیب با ۱۴۶۰/۴، ۱۲۲۸۶/۴ و ۵۰/۴ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقادیر برای تیمار ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد ماش به‌ترتیب با ۲۶۳/۲، ۵۸۴۳/۳ و ۸/۱ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید. همچنین، بالاترین عملکرد دانه و زیست‌توده ماش برای کشت خالص به‌ترتیب با ۲۱۶۷/۱ و ۸۹۰۰/۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقادیر برای تیمار ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد ماش به‌ترتیب با ۷۴۰/۵ و ۲۵۴۰/۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید. نتایج نشان داد که تیمارهای کشت مخلوط از نظر نسبت برابری زمین کل، اختلاف معنی‌داری را با هم نشان ندادند. بیشترین مقدار نسبت برابری زمین کلی (۱/۰۷) از الگوی کشت مخلوط ۵۰ درصد ماش + ۵۰ درصد رازیانه و کمترین مقدار (۰/۹۱) از الگوی کشت مخلوط ۲۵ درصد ماش + ۷۵ درصد رازیانه به‌دست آمد. به‌طور کلی، افزایش درصد حضور هر دو گیاه تا ۷۵ درصد باعث افزایش عملکرد بیولوژیکی و دانه شد و افزایش بیش از این میزان، به‌دلیل افزایش رقابت درون گونه‌ای بر سر جذب منابع محیطی کاهش این صفات را موجب گردید.

واژه‌های کلیدی: تثبیت زیستی نیتروژن، عملکرد اسانس، عملکرد دانه، گیاه دارویی

مقدمه

یکی از راهکارهای کلیدی در کشاورزی پایدار بازگرداندن تنوع به اکوسیستم‌های کشاورزی و مدیریت مؤثر آن است. کشت مخلوط به عنوان نمونه‌ای از نظام‌های پایدار در کشاورزی اهدافی نظیر ایجاد تعادل اکولوژیک، بهره‌برداری بیشتر از منابع، افزایش کمّی و کیفی عملکرد و کاهش خسارت آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و کاهش وابستگی کشاورزان به آفت‌کش‌ها، به‌شرط حفظ کیفیت محصول و بازارپسندی آن را دنبال می‌کند (Fernandez- Aparicio et al., 2007; Lithourgidis et al., 2007). وایلی (Willey, 1990) کشت مخلوط را یک روش اقتصادی جهت تولید بالاتر با سطوح

۱- دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/jag.v1i1.54301

نهاده‌های خارجی کم‌تر می‌داند. این افزایش کارایی مصرف، به‌ویژه برای کشاورزان خرده‌پا و همچنین در مناطق برخوردار از طول فصل رشد کوتاه اهمیت بسیار دارد. تولید بیشتر در کشت مخلوط را می‌توان به سرعت رشد بیشتر (Siame et al., 1998)، کاهش علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها (Yildirim & Guvence, 2005) و استفاده مؤثرتر از منابع قابل دسترس (Willey, 1990) نسبت داد.

بقولات از جمله گیاهانی محسوب می‌شوند که به‌دلیل قدرت تثبیت نیتروژن از جایگاه ویژه‌ای در کشت مخلوط برخوردار هستند. ماش (*Vigna radiata* L. Wilczek) گیاهی یک‌ساله، بوته‌ای یا نیمه‌رونده و از خانواده لگوم است که در حال حاضر در قسمت‌های مختلف دنیا از جمله کشورهای حوزه مدیترانه به‌صورت مخلوط با سایر گیاهان کشت می‌شود. ماش به این دلیل منبعی سرشار از پروتئین (۱۹/۵ تا ۲۸/۵ درصد) با کیفیت بالا می‌باشد (Majnoon Hosseini & Colar, 1988)،که نقش به‌سزایی را در تغذیه مردم کم‌درآمد کشورهای در حال توسعه دارد. این گیاه در بهبود حاصلخیزی خاک از طریق تثبیت زیستی نیتروژن (Agboola & Fayami, 1972)، در جلوگیری از فرسایش خاک به‌صورت یک گیاه پوششی، به‌عنوان یک گیاه کنترل‌کننده علف‌هرز (Majnoon Hosseini & Colar, 1988)، همچنین اغلب اوقات به‌صورت علوفه سبز، خشک و سیلو شده نیز کاربرد دارد (Abedi & Majde Nasiri, 1994). از ماش به‌طور گسترده در کشت مخلوط با سایر گیاهان استفاده شده است. نتایج این تحقیقات نشان داده است ماش باعث کنترل علف‌های هرز (Behera et al., 1994; Pandita et al., 2000; Roy, 1997)، افزایش نیتروژن خاک (Agboola & Fayami, 1972)، افزایش عملکرد (Dhingra et al., 1991; Mandal et al., 2000)، افزایش نسبت برابری زمین (Agboola & Fayami, 1972; Mandal et al., 2000)، افزایش سود خالص و بازده اقتصادی (Pandita et al., 2000; Roy, 1997)در کشت مخلوط شده است. جهانی و همکاران (Jahani et al, 2007) گزارش کردند که در کشت مخلوط عدس (*Lens culinaris* L.) و زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) وزن خشک اندام‌های رویشی، عملکرد زیست‌توده، وزن هزاردانه و تعداد دانه در هر چتر زیره سبز و عملکرد دانه آن به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. سیستم کشت مخلوط لگوم با غیر لگوم به‌علت استفاده مفید از منابع، عملکرد بیشتری را تولید می‌کند. کشت مخلوط لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) با ارزن (*Panicum miliaceum* L.) در نواحی نیمه خشک، عملکرد ارزن را ۱۳ تا ۱۵ درصد افزایش داد (Hulet & Gosseye, 2000). میرشاهی و همکاران (Mirhashemi et al., 2009) در بررسی مزیت کشت مخلوط زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) به این نتیجه رسیدند که شاخص برداشت و وزن خشک زنیان در کلیه تیمارهای کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص زنیان بیشتر بود.

افزایش جمعیت و نیاز مبرم صنایع داروسازی به گیاهان دارویی به‌عنوان مواد اولیه تولید دارو، ناتوانی در تولید مصنوعی پاره‌ای از داروهای حیاتی توسط صنایع داروسازی و همچنین اهمیت مواد مؤثر گیاهان دارویی در صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی باعث شده که توجه و تحقیق پیرامون این دسته گیاهان از نقطه نظر کشت، تولید و مصرف از اهمیت خاصی برخوردار باشد (Bagheri et al., 2005). رازیانه با نام علمی (*Foeniculum vulgar* Mill.) به تیره چتریان (Apiaceae) تعلق دارد. مقدار متوسط اسانس میوه و برگ‌های آن ۱ درصد تا ۱/۵ درصد و در ریشه ۰/۶ درصد تا ۰/۷ درصد است، درحالی‌که مقدار آن تنها در میوه به دو درصد تا شش درصد می‌رسد (Omidbeigi, 2003). درصد اسانس رازیانه متغیر بوده و به بخش-های مختلف گیاه و عوامل بوم‌شناختی بستگی دارد. در بررسی کومار و همکاران (Kumar et al., 2006) در مورد کشت مخلوط رازیانه و شنبلیله، کشت مخلوط این دو گیاه موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه رازیانه در مقایسه با تک‌کشتی شد. کاروالیو و همکاران (Carvalho et al., 2010) نیز اظهار داشتند، کاهش عملکرد رازیانه در کشت مخلوط رازیانه با لوبیا و لوبیا چشم‌بلبلی بسیار پایین بود و کشت مخلوط سبب بهبود عملکرد نسبی رازیانه شد. در این مطالعه نسبت برابری زمین تحت شرایط کشت مخلوط افزایش نشان داد. صدیقی دهکردی و همکاران (Seddighi Dehkordi et al., 2011) در بررسی کشت مخلوط رازیانه و زنیان گزارش کردند که کشت مخلوط تک ردیفی سبب افزایش ارتفاع بوته، تعداد انشعابات شاخه و نسبت برابری زمین شد. در آزمایش کشت مخلوط رازیانه با نخود (*Cicer arietinum* L.) عنوان شد که عملکرد دانه نخود در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص ۴۸ درصد کاهش نشان داد، امّا بیشترین مقدار نسبت برابری زمین از تیمار ۱:۱ حاصل شد (Awasthi et al., 2011). نتایج تحقیقی در مورد کشت مخلوط نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) با سویا (*Glycine max* (L.)

Merrill) نشان داد که عملکرد نعناع فلفلی حدود ۵۰ درصد افزایش پیدا می‌کند و در ضمن درصد منتول بالاتر و درصد منتوفوران و منتیا اکتات کمتر می‌شود که از لحاظ کیفیت اسانس با اهمیت است (Maffei & Mucciarelli, 2003). این محققین گزارش کردند که در کشت مخلوط سویا و نعناع عملکرد و کیفیت اسانس نعناع در مقایسه با کشت خالص بیشتر بود. هدف از این مطالعه، مقایسه نسبت‌های جایگزینی کشت مخلوط گیاه دارویی رازیانه با ماش برای پیدا کردن ترکیب یا آرایشی است که حداکثر عملکرد دانه و اسانس را به همراه داشته باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد، با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۹۹/۲ متر از سطح دریا اجرا شد. خاک محل آزمایش دارای بافت سیلتی لومی بود.

تیمارهای آزمایش شامل: ۲۵ درصد ماش + ۷۵ درصد رازیانه، ۵۰ درصد ماش + ۵۰ درصد رازیانه، ۷۵ درصد ماش + ۲۵ درصد رازیانه، کشت خالص ماش و کشت خالص رازیانه بود. ابتدا کرت‌هایی به ابعاد ۳/۵ در دو متر ایجاد و در داخل هر کرت شش ردیف برای کاشت در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌ها از یکدیگر یک و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر نیز یک متر بود. کاشت گیاهان به‌صورت همزمان در تاریخ ۱۳۹۴/۰۳/۲۲ و در ردیف‌هایی به‌فاصله ۵۰ سانتی متر انجام شد. بلافاصله پس از کاشت آبیاری به‌منظور تسهیل در جوانه‌زنی انجام گرفت و پس از آن آبیاری زمین هر پنج روز یک‌بار به‌روش نشتی انجام گرفت. در مرحله چهار برگی، هر دو گیاه با تراکم مطلوب ۴۰ بوته در مترمربع (Gul et al., 2008) تنک شدند. وجین علف‌های هرز در دو مرحله پس از کاشت به‌روش دستی انجام گرفت. در طول اجرای آزمایش هیچ نوع کود شیمیایی، علف‌کش و یا آفت‌کشی استفاده نشد.

برای تعیین عملکرد نهایی، ماش در تاریخ ۳۰ شهریورماه و رازیانه در ۲۰ مهرماه از سطحی معادل یک مترمربع برداشت شدند. پیش از برداشت نهایی تعداد پنج بوته ماش و سه بوته رازیانه از هر واحد آزمایشی به‌طور تصادفی برداشت شده و ویژگی‌هایی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته، تعداد چتر بارور در بوته، تعداد چتر عقیم در بوته، تعداد چترک در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه برای گیاه رازیانه و ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته و وزن ۱۰۰ دانه برای گیاه ماش و همچنین شاخص برداشت هر دو گیاه محاسبه و سپس درصد اسانس ۲۰ گرم از بذرهای رازیانه با کمک دستگاه کلونجر (Anonymous, 1998) به‌روش تقطیر با بخار آب به‌مدت چهار ساعت اندازه‌گیری شد. میزان آب مصرفی در هر بالن دستگاه کلونجر، ۱۰۰۰ میلی لیتر بود. عملکرد اسانس رازیانه با استفاده از رابطه عملکرد دانه × درصد اسانس به‌دست آمد.

برای ارزیابی کشت مخلوط گیاه دارویی رازیانه با ماش در مقایسه با کشت خالص از شاخص نسبت برابری زمین (براساس عملکرد دانه) از معادله ۱ استفاده شد (Vandermeer, 1989):

$$LER=\frac{Y_1}{B_1}+\frac{Y_2}{D_2}$$ معادله (۱)

که در آن، Y_1 و Y_2: به‌ترتیب عملکرد گونه‌های ماش و رازیانه در کشت مخلوط و B_1 و B_2: نیز عملکرد گونه‌های ماش و رازیانه در کشت خالص است.

به‌منظور تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار Minitab-17 و جهت مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. برای رسم شکل‌ها نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته و وزن ۱۰۰ دانه به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ($p\leq$۰/۰۵) و تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه ، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت ماش به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ($p\leq$۰/۰۱) تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با گیاه دارویی رازیانه قرار گرفتند (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد ماش

Table 1- Variance analysis (mean of squares) of yield and yield components of mung bean

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی در بوته Number of branch per plant	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	عملکرد دانه در هکتار Seed yield per hectare	عملکرد زیست‌توده در هکتار Biological yield per hectare	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	7.6^{ns}	0.2^{ns}	4.6^{ns}	0.007^{ns}	7.9^{ns}	0.02^{ns}	129271^{ns}	1985489^{ns}	1.3^{ns}
تیمار Treatment	3	87.1*	0.5*	50.1**	0.2*	1879.1*	0.8*	1162738**	22701649**	11.7**
خطا Error	6	12.4	0.09	5.03	0.02	231.3	0.08	82679	776591	1.2
ضریب تغییرات CV (%)		5.9	11.7	11.5	2	13.3	4.4	19.9	15.2	4.3

^{ns}، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

^{ns}, ** and *: non-significant, significant at 1% probability level and significant at 5% probability level, respectively.

همچنین تعداد ساقه اصلی در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار-دانه، درصد اسانس و شاخص برداشت رازیانه به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ($p\leq$۰/۰۵) و ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد چتر بارور در بوته، تعداد چتر عقیم در بوته، تعداد چترک در بوته، عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و عملکرد اسانس رازیانه به طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با گیاه ماش قرار گرفتند (جدول ۲ و ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اجزای عملکرد در رازیانه

Table 2- Variance analysis (mean of squares) of yield components in fennel

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی در بوته Number of sub branch per plant	تعداد ساقه اصلی در بوته Number of main stem per plant	تعداد چتر بارور در بوته Number of fertilize umbrella per plant	تعداد چتر عقیم در بوته Number of unproductive umbrella per plant	تعداد چترک در بوته Number of umbelet per plant	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant
تکرار Replication	2	0.820^{ns}	0.244^{ns}	2.817^{ns}	25.115^{ns}	74.59^{ns}	1.363^{ns}	65723^{ns}
تیمار Treatment	3	134.525**	32.061**	4.701*	83.675**	2100.37**	424.577**	162523*
خطا Error	6	7.348	2.938	0.518	8.639	124.22	38.483	22047
ضریب تغییرات CV (%)		3.56	11.28	16.86	14.64	13.42	13.66	19.68

^{ns}، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

^{ns}, ** and *: non-significant, significant at 1% probability level and significant at 5% probability level, respectively

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) وزن هزاردانه، عملکرد دانه و بیولوژیک در هکتار، درصد و عملکرد اسانس و شاخص برداشت در رازیانه

Table 3- Variance analysis (mean of squares) of 1000-seed weight, seed and biological yield in hectare, essential oil percent and yield and harvest index in fennel

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	وزن هزاردانه 1000-seed weight	درصد اسانس Essential oil percent	عملکرد دانه در هکتار Seed yield per hectare	عملکرد زیست‌توده در هکتار Biological yield per hectare	عملکرد اسانس Essential oil yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	0.510^{ns}	0.018^{ns}	13499^{ns}	75339^{ns}	7.82^{ns}	1.987^{ns}
تیمار Treatment	3	1.977*	0.142*	748556**	22241075**	920.109**	30.823*
خطا Error	6	0.335	0.025	60182	1420629	65.265	5.330
ضریب تغییرات CV (%)		8.73	4.63	31.57	13.08	29.98	29.01

^{ns}، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

^{ns}, ** and *: non-significant, significant at 1% probability level and significant at 5% probability level, respectively

ارتفاع بوته

بررسی اثر تیمارهای مختلف کشت خالص و مخلوط بـر ارتفـاع بوته ماش و رازیانه نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته ماش بـا ۶۶/۴ سانتی‌متر در کشت خالص و کمترین آن در نسبت ۵۰ درصد ماش + ۵۰ درصد رازیانه با ۵۴/۱ سانتی‌متر مشاهده گردید (جدول ۴).

جدول ٤- اثر تیمارهای کشت مخلوط بر اجزای عملکرد و شاخص برداشت ماش

Table 4- Effect of intercropping treatments on yield components and harvest indexof mung bean.

نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	ارتفاع Plant height (cm)	شاخه فرعی (تعداد در بوته) Sub branch (No.plant^{-1})	غلاف (تعداد در بوته) Pod (No.plant^{-1})	دانه (تعداد در غلاف) Seed (No.pod^{-1})	دانه (تعداد در بوته) Seed (No.plant^{-1})	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight (g)	شاخص برداشت Harvest index (%)
۲۵٪ ماش + ۷۵٪ رازیانه 25% M + 75% F	60.5^{ab*}	2^{b}	23^{a}	8.6^{a}	144.6^{a}	6.6^{ab*}	28.0^{a}
۵۰٪ ماش + ۵۰٪ رازیانه 50% M + 50% F	54.1^{b}	3.1^{a}	22.9^{a}	8.1^{ab}	90.3^{b}	6.2^{b}	23.5^{b}
۷۵٪ ماش + ۲۵٪ رازیانه 75% M + 25% F	56.3^{b}	2.6^{ab}	15.1^{b}	8.2^{ab}	96.8^{b}	7.3^{a}	25.8^{ab}
۱۰۰٪ ماش 100% M	66.4^{a}	2.5^{ab}	16.8^{ab}	7.9^{b}	123.2^{ab}	6.2^{b}	24.3^{b}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

M: ماش و F: رازیانه

* Means with the same letter(s) in each column have no significant difference at 5% probability level, according to Tukey Test.
M: Mung Bean and F: Fennel

چنین به نظر می‌رسد که در تراکم‌هـای بـالا بـا افـزایش رقابـت درون‌گونه‌ای طول میان‌گره‌ها زیاد می‌شود و به تبـع آن ارتفـاع گیـاه افزایش می‌یابد. به احتمال زیاد معنی‌دار نشدن اثر نسبت‌هـای کشـت مخلـوط در مـورد ارتفـاع مـاش، مربـوط بـه دارا بـودن آشـیان‌هـای اکولوژیکی مناسـب بـرای دریافـت نـور و در نتیجـه، کـاهش رقابـت چشمگیر در جذب نور بوده است. از ایـن‌رو، رقابـت نـوری در بـین دو گونه تقلیل یافت و ارتفاع، تحت تأثیر نسبت‌های کشت قـرار نگرفـت (Kiani et al., 2014). رضـوان بیـدختی (Rezvan Beidokhti,

(2004 نیز طی بررسی خود بر روی کشت مخلوط ذرت و لوبیا عدم اختلاف معنی‌دار ارتفاع لوبیا را در کشت‌های مخلوط، نسبت به خالص گزارش کرد. همچنین، بیشترین ارتفاع بوته رازیانه با ۸۱/۶ سانتی‌متر در نسبت ۵۰ درصد رازیانه + ۵۰ درصد ماش و کمترین آن در کشت خالص با ۶۶/۷ سانتی‌متر مشاهده گردید (جدول ۵). به‌طور کلی، می‌توان گفت با افزایش رقابت درون‌گونه‌ای ارتفاع گیاه رازیانه کاهش یافت. به نظر می‌رسد، کاشت دیرهنگام گیاه رازیانه بر روی ارتفاع آن تأثیر سوء داشته است. همچنین، با توجه به چندساله بودن رازیانه این گیاه می‌تواند در سال‌های دوم به بعد به ارتفاع بیشتری برسد (Khamooshi, 2014). در تحقیقی بالاترین ارتفاع بوته سیاهدانه در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه این گیاه با همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی و پایین‌ترین آن در تیمار کشت خالص سیاهدانه ثبت شد. دلیل افزایش ارتفاع بوته سیاهدانه در تیمارهای کشت مخلوط را می‌توان رقابت این گیاه جهت جذب نور بیشتر دانست (Naghipoor Dehkordi, 2015).

جدول ۵- اثر تیمارهای کشت مخلوط بر رشد و اجزای عملکرد رازیانه

Table 5- Effect of intercropping treatments on growth and yield components offennel

نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	ارتفاع Plant height (cm)	شاخه فرعی (تعداد در بوته) Sub branch (No.plant^{-1})	ساقه اصلی (تعداد در بوته) Main stem (No.plant^{-1})	چتر بارور (تعداد در بوته) Fertilize umbrella (No.plant^{-1})	چتر عقیم (تعداد در بوته) Unproductive umbrella (No.plant^{-1})	چترک (تعداد در بوته) Umbelet (No.plant^{-1})	دانه (تعداد در بوته) Seed (No.plant^{-1})
۲۵٪ رازیانه + ۷۵٪ ماش 25% F + 75% M	80.1^{a*}	11.8^{b}	2.6^{b}	12.4^{b}	84.7^{a}	51.3^{a}	489^{b}
۵۰٪ رازیانه + ۵۰٪ ماش 50% F + 50% M	81.6^{a}	13.8^{b}	5.6^{a}	20.6^{ab}	102.8^{a}	52.2^{a}	917.4^{a}
۷۵٪ رازیانه + ۲۵٪ ماش 75% F + 25% M	76.3^{a}	19.4^{a}	4.6^{ab}	22.8^{a}	99.5^{a}	50.5^{a}	632.4^{ab}
۱۰۰٪ رازیانه 100% F	66.7^{b}	15.6^{ab}	4.1^{ab}	24.3^{a}	45.1^{b}	27.6^{b}	979.3^{a}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

M: ماش و F: رازیانه

* Means with the same letter(s) in each column have no significant difference at 5% probability level, according to Tukey Test.

M: Mung Bean and F: Fennel

تعداد شاخه فرعی

بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته ماش با ۳/۱ شاخه فرعی در نسبت ۵۰ درصد ماش + ۵۰ درصد رازیانه و کمترین آن در نسبت ۲۵ درصد ماش + ۷۵ درصد رازیانه با دو شاخه فرعی مشاهده گردید (جدول ۴). گزارش‌هایی حاکی از افزایش تعداد شاخه‌های جانبی گیاهان در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تیمارهای کشت خالص هستند (Asadi, 2007; Mirhashemi, 2006; Hussain et al., 2005). در مورد این نتایج نیز به نظر می‌رسد، نوع الگوی کشت غیر متراکم‌تر نسبت به تیمارهای کشت خالص (که بر روی فضای نور در دسترس گیاه اثرگذار است) است که سبب کسب چنین نتایجی از این آزمایش‌ها شده باشد (Naghipoor Dehkordi, 2015). همچنین، بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته رازیانه با ۱۹/۴ شاخه فرعی در بوته در نسبت ۷۵ درصد رازیانه + ۲۵ درصد ماش و کمترین آن در نسبت ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد ماش با ۱۱/۸ شاخه فرعی در بوته مشاهده گردید (جدول ۵). صدری و همکاران (Sadri et al., 2014) گزارش نمودند که بیشترین تعداد ساقه فرعی در بوته شنبلیله مربوط به سری جایگزینی ۵۰ درصد رازیانه + ۵۰ درصد شنبلیله (۱:۱) بود و کمترین آن از سری افزایشی ۱۰۰ درصد رازیانه + ۱۰۰ درصد شنبلیله حاصل شد. در رازیانه بیشترین تعداد ساقه فرعی از سری جایگزینی ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد شنبلیله (۱:۳) و کمترین آن از سری افزایشی ۱۰۰ درصد رازیانه + ۱۰۰ درصد شنبلیله به‌دست آمد. در سری‌های جایگزینی، گیاهان از توزیع مکانی و فضایی مناسبی برخوردار هستند و می‌توانند از عوامل محیطی از قبیل نور، آب و عناصر غذایی به‌خوبی استفاده کنند و از توسعه شاخساره بیشتری برخوردار باشند.

تعداد غلاف در بوته و دانه در غلاف ماش

بیشترین تعداد غلاف در بوته ماش با ۲۳ غلاف در نسبت ۲۵ درصد ماش + ۷۵ درصد رازیانه و کمترین آن در نسبت ۷۵ درصد ماش + ۲۵ درصد رازیانه با ۱۵/۱ غلاف مشاهده گردید (جدول ۴). این‌طور به نظر می‌رسد که در کشت مخلوط بوته‌های ماش فضای بیشتری را برای رشد و دریافت نور در اختیار داشتند و توانستند تعداد غلاف‌ها را افزایش دهند. می‌توان گفت که پایین‌بودن تعداد غلاف در بوته‌های کشت خالص به‌دلیل وجود رقابت درون‌گونه‌ای بالا در این تیمارها بود. نسبت‌های مختلف کاشت تأثیر معنی‌داری بر تعداد غلاف در بوته لوبیا نشان دادند، به‌طوری‌که لوبیا در کشت مخلوط ۲۵ درصد افزایشی به‌علت تراکم کمتر، بیشترین تعداد غلاف را در بوته داشت (Khamooshi, 2014). مظاهری و همکاران (Mazaheri et al., 2001) بیان داشتند که با افزایش تراکم در سویا (*Glycine max* L.) تعداد غلاف در بوته به‌دلیل رقابت درون‌گونه‌ای به‌شدت کاهش یافت. همچنین بیشترین تعداد دانه در غلاف ماش با ۸/۶ دانه در غلاف در نسبت ۲۵ درصد ماش + ۷۵ درصد رازیانه و کمترین آن در کشت خالص با ۷/۹ دانه در غلاف مشاهده گردید (جدول ۴). در پژوهشی کلیه الگوهای کشت مخلوط از نظر تعداد دانه در غلاف ماش بالاتر از کشت خالص آن بودند و آرایش کاشت یک ردیف سیاهدانه + دو ردیف ماش دارای بیشترین تعداد دانه در غلاف بود (Rezvani Moghadam., 2009). محققین نشان دادند که ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط ماش و برنج نسبت به کشت خالص از لحاظ تعداد دانه در غلاف برتری داشتند. آن‌ها علت این برتری را استفاده بهتر از منابع (نور و مواد غذایی) در کشت مخلوط عنوان نمودند (Mandal et al., 1990).

تعداد ساقه اصلی، چتر بارور، چتر عقیم و چترک در بوته رازیانه

بیشترین تعداد ساقه اصلی در بوته رازیانه با ۵/۶ ساقه اصلی در بوته در نسبت ۵۰ درصد رازیانه + ۵۰ درصد ماش و کمترین آن در نسبت ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد ماش با ۲/۶ ساقه اصلی در بوته مشاهده گردید (جدول ۵). در تحقیقی مشاهده شد که در بین الگوهای کاشت بیشترین تعداد ساقه اصلی در بوته شنبلیله از سری افزایشی ۱۰۰ درصد رازیانه + ۳۳ درصد شنبلیله حاصل شد که با الگوهای کشت مخلوط جایگزینی تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین آن از سری افزایشی ۱۰۰ درصد رازیانه + ۱۰۰ درصد شنبلیله حاصل شد. در رازیانه نیز بیشترین تعداد ساقه اصلی از سری جایگزینی ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد شنبلیله (۱:۳) و کمترین آن از سری افزایشی ۱۰۰ درصد رازیانه + ۱۰۰ درصد شنبلیله به‌دست آمد (Sadri et al., 2014). رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghadam et al., 2009) در بررسی کشت مخلوط ماش با سیاهدانه بیان کردند الگوهای کاشتی که فضای بیشتری را در اطراف گیاه ماش فراهم می‌آورند، سبب افزایش فعالیت گیاه برای پرکردن فضای اطراف و گسترش کانوپی می‌شود. همچنین بیشترین تعداد چتر بارور در بوته رازیانه با ۲۴/۳ چتر بارور در بوته در کشت خالص و کمترین آن در نسبت ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد ماش با ۱۲/۴ چتر بارور در بوته مشاهده گردید (جدول ۵). به نظر می‌رسد، رازیانه در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تیمار کشت خالص تحت فشار رقابتی بیشتری بوده و به همین سبب نتوانسته از عوامل محیطی به نحو مطلوب استفاده کند. کشت خالص رازیانه دارای بیشترین تعداد چتر بارور بود که سبب شده میزان مواد فتوسنتزی تولیدی بین مخازن بیشتری تقسیم و سهم هر بخش کاهش یابد. در پژوهشی بیشترین تعداد چتر بارور در تیمارهای کشت مخلوط رازیانه- لوبیا و کشت خالص به‌دست آمد (Ranjbar, 2012). همچنین بیشترین تعداد چتر عقیم در بوته رازیانه با ۱۰۲/۸ چتر عقیم در بوته در نسبت ۵۰ درصد رازیانه + ۵۰ درصد ماش و کمترین آن در کشت خالص با ۴۵/۱ چتر عقیم در بوته مشاهده گردید (جدول ۵). به نظر می‌رسد با افزایش تراکم، به‌دلیل افزایش رقابت درون‌گونه‌ای از تعداد چتر عقیم در بوته کاسته شده است. میرهاشمی و همکاران (Mirhashemi et al., 2009) بیشترین تعداد چتر در بوته را در تیمار کشت مخلوط تک ردیفی زنیان و شنبلیله گزارش کردند. در پژوهشی در بین الگوهای مختلف کاشت، بیشترین تعداد چتر در بوته رازیانه از سری جایگزینی ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد شنبلیله (۱:۳) و کمترین آن از سری افزایشی ۱۰۰ درصد رازیانه + ۱۰۰ درصد شنبلیله به‌دست آمد (Sadri et al., 2014). در اختیار داشتن فضای مناسب برای افزایش تعداد ساقه‌ها را می‌توان یکی از عوامل اصلی افزایش تعداد چتر در سری‌های جایگزینی کشت مخلوط به حساب آورد (Sadri et al., 2014). بیشترین تعداد چترک در بوته رازیانه با ۵۲/۲ چترک در بوته در نسبت ۵۰ درصد رازیانه + ۵۰ درصد ماش و کمترین آن در کشت خالص با ۲۷/۶ چترک در بوته مشاهده گردید (جدول ۵). به نظر می‌رسد با افزایش تراکم، به‌دلیل

افزایش رقابت درون‌گونه‌ای از تعداد چترک در بوته کاسته شده است. رازیانه در نسبت‌های کشت مخلوط بـه‌علـت فضـای بیشـتر و تـراکم کمتری که نسبت به کشت خـالص در اختیـار داشـته اسـت، از منـابع موجود به‌ویژه نور در جهت پوشش بیشتر فضای موجود استفاده کـرده است. امّا با وجود این که نسبت‌های مختلف کشت مخلـوط بیشـترین تعداد چترک در بوته را داشته‌اند، به نظر می‌رسد اکثر ایـن چتـرک‌هـا نابارور بوده و نتوانسته‌اند عملکرد دانه را در این تیمارها نسبت به تیمار کشت خالص افزایش دهنـد (Ranjbar, 2012). هاگـارد و همکـاران (Haggaard et al., 2001) در تحقیقی که بـر روی کشـت مخلـوط لوبیا و جو انجام دادند، بیان نمودند، نور، آب و مواد غذایی ممکن است که به‌طور کامل توسط گیاه جذب گـردد کـه ایـن جـذب بـه توانـایی گیاهان موجود در مخلوط به‌منظور رقابت برای فاکتورهای رشدی بـر می‌گردد.

تعداد دانه در بوته

بیشترین تعداد دانه در بوته ماش با ۱۴۴/۶ دانه در بوته در نسـبت ۲۵ درصد ماش + ۷۵ درصد رازیانه و کمترین آن در نسبت ۵۰ درصد ماش + ۵۰ درصد رازیانه با ۹۰/۳ دانه در بوته مشاهده گردید (جـدول ۴). خاموشی (Khamooshi, 2014) اظهـار داشـت در تیمـار کشـت مخلوط ۲۵ درصد افزایشی، لوبیا بیشترین تعداد دانه در بوته را دارا بود و از آن‌جایی که در این تیمـار رازیانـه اثـر رقـابتی زیـادی روی لوبیـا نداشت، فضای رشدی بیشتری در اختیار گیاه قرار گرفت و در نهایـت، محصول تک‌بوته بیشتری را نشان داد. همچنین، بیشترین تعداد دانـه در بوته رازیانه با ۹۷۹/۳ دانه در بوته در کشت خـالص و کمتـرین آن در نسبت ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد مـاش بـا ۴۸۹ دانـه در بوتـه مشاهده گردید (جدول ۵). به نظر می‌رسد در کشت خـالص بـه‌علـت تعداد بالاتر بوته‌های رازیانه، تعداد دانه در بوته رازیانـه افـزایش پیـدا کرده است. نتایج مطالعه رنجبر (Ranjbar, 2012) نشـان داد کـه در کشت مخلوط رازیانه- کنجد- لوبیـا، در مـورد صـفت تعـداد دانـه در چترک بین تیمارهای کشت مخلوط و خالص از لحاظ آمـاری تفـاوت معنی‌داری وجود نداشت، امّا به‌لحاظ مقداری بیشـترین تعـداد دانـه در چترک، مربوط به تیمار کشت خالص رازیانـه و کمتـرین آن در تیمـار کشت مخلوط کنجد- رازیانه مشاهده شد. روی (Roy, 1997) نیز در تحقیق خود بر روی کشت مخلوط برنج با گیاه ماش مشاهده کرد که بیشترین تعداد دانه در پانیکول در کشت خالص بوده است.

وزن دانه ماش و رازیانه

بیشترین وزن صددانه ماش با ۷/۳ گرم در نسبت ۷۵ درصد ماش + ۲۵ درصد رازیانه و کمتـرین آن در نسـبت ۵۰ درصـد مـاش + ۵۰ درصـد رازیانـه بـا ۶/۲ گـرم مشـاهده گردیـد (جـدول ۴). همچنـین، بیشترین وزن هزاردانه رازیانه با ۷/۳ گرم در نسبت ۵۰ درصد رازیانـه + ۵۰ درصد ماش و کمتـرین آن در نسـبت ۲۵ درصـد رازیانـه + ۷۵ درصد ماش با ۵/۴ گرم مشاهده گردید (جدول ۶). به نظر می‌رسد که علت پایین بودن وزن صددانه در کشت خالص به‌دلیـل وجـود رقابـت درون‌گونه‌ای بالا به‌علت تـراکم زیـاد بوتـه‌هـای مـاش بـوده اسـت. فاینینسا (Fininsa, 2003) بـا بررسـی کشـت مخلـوط ذرت و لوبیـا گزارش کرد که وزن صددانه در کشت مخلوط دارای اختلاف معنی‌دار با کشت خالص بود. نتایج تحقیقی نشان داد وزن هزاردانه شنبلیله بـه طور معنی‌داری تحت تأثیر الگوهای کاشت قرار گرفت. به‌طـوری کـه بیشترین وزن هزاردانه شنبلیله از سری جایگزینی ۵۰ درصد رازیانه + ۵۰ درصـد شـنبلیله (۱:۱) حاصـل شـد (Sadri et al., 2014). در پژوهشی اثر تیمارهای کشت مخلوط و خالص بر وزن هزاردانه رازیانه نشان داد که این تیمارها تأثیر معنی‌داری بر وزن هزاردانـه ایـن گیـاه نداشتند. امّا به‌لحاظ مقداری بالاترین میـزان وزن هزاردانـه در تیمـار رازیانه- کنجد به‌دست آمد و کمترین آن در کشت خالص مشاهده شد (Ranjbar, 2012). رضوان بیـدختی (Rezvan Beidokhti, 2004) در تحقیقی، بالا بودن وزن هزاردانه زیره سـبز در تـراکم کـم بوتـه را بیانگر رقابت کمتر درون‌گونه‌ای در این تیمـار و اثـرات مثبـت کشـت مخلوط نخود بر پرشدن دانه بیان می‌کند.

جدول ٦- اثر تیمارهای کشت مخلوط بر وزن هزاردانه، درصد اسانس و شاخص برداشت رازیانه

Table 6- Effect of intercropping treatments on 1000-seed weight, essential oil percent, and harvest index of fennel

نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	وزن هزاردانه 1000-seed weight (g)	درصد اسانس Essential oil (%)	شاخص برداشت Harvest index (%)
۲۵٪ رازیانه + ۷۵٪ ماش 25% F + 75% M	5.4[b]	3.1[b]	4.5[b]
۵۰٪ رازیانه + ۵۰٪ ماش 50% F + 50% M	7.3[a]	3.56[a]	8.7[ab]
۷۵٪ رازیانه + ۲۵٪ ماش 75% F + 25% M	6.6[ab]	3.55[a]	6.4[ab]
۱۰۰٪ رازیانه 100% F	7[ab]	3.46[ab]	12[a]

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

M: ماش و F: رازیانه

* Means with the same letter(s) in each column have no significant difference at 5% probability level, according to Tukey Test.

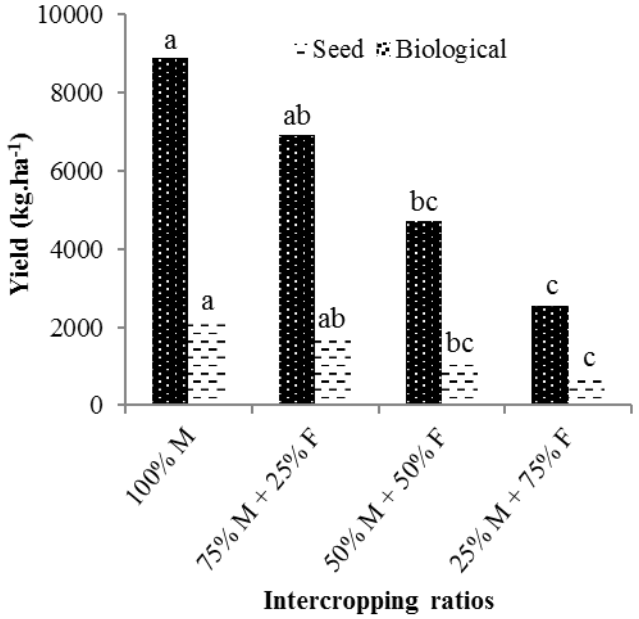
M: Mung Bean and F: Fennel

عملکرد دانه و زیست‌توده ماش

بیشترین عملکرد دانه ماش با ۲۱۶۷/۱ کیلوگرم در هکتار در کشت خالص و کمترین آن در نسبت ۲۵ درصد ماش + ۷۵ درصد رازیانه با ۷۴۰/۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید (شکل ۱). همچنین، بیشترین عملکرد زیست‌توده ماش با ۸۹۰۰/۵ کیلوگرم در هکتار در کشت خالص و کمترین آن در نسبت ۲۵ درصد ماش + ۷۵ درصد رازیانه با ۲۵۴۰/۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید (شکل ۱). نتایج تحقیق خاموشی (Khamooshi, 2014) بر روی کشت مخلوط لوبیا و رازیانه نشان داد که کشت خالص لوبیا بیشترین میزان عملکرد دانه را با ۲۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص داد که دلیل آن تراکم حداکثری لوبیا در کشت خالص نسبت به سایر تیمارهای کشت مخلوط بود. همچنین، از بین نسبت‌های مختلف کاشت بیشترین عملکرد زیست‌توده مربوط به تیمار کشت خالص به‌میزان ۶۴۲۰ کیلوگرم در هکتار بود و کمترین آن نیز در تیمار کشت مخلوط ۲۵ درصد افزایشی به‌میزان ۲۴۵۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2010) در بررسی کشت مخلوط لوبیا و ریحان برتری کشت خالص لوبیا (۳۴۳۳ کیلوگرم در هکتار) را از نظر عملکرد دانه نسبت به سایر تیمارهای کشت مخلوط مشاهده کردند و بیان نمودند با توجه به این که اجزای عملکرد در کشت مخلوط (غلاف و دانه در بوته) به‌طور معنی‌داری بالاتر از کشت خالص بود، بدیهی است که افزایش عملکرد در کشت خالص به‌خاطر تراکم بیشتر لوبیا بود زیرا در تمامی تیمارهای کشت مخلوط، تراکم لوبیا کمتر از کشت خالص بود. منصوری و همکاران (Mansouri et al., 2013) در کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا بیان کردند از لحاظ عملکرد زیست‌توده اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای افزایشی کشت مخلوط وجود داشت که دلیل آن را می‌توان به اختلاف تراکم لوبیا در این تیمارها نسبت داد. با افزایش حضور ماش در نسبت‌های کشت مخلوط، به‌دلیل افزایش تثبیت زیستی نیتروژن، عملکرد دانه و زیست‌توده ماش افزایش پیدا کرده است.

عملکرد دانه و زیست‌توده رازیانه

بیشترین عملکرد دانه رازیانه با ۱۴۶۰/۴ کیلوگرم در هکتار در کشت خالص و کمترین آن در نسبت ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد ماش با ۲۶۳/۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید (شکل ۲). همچنین، بیشترین عملکرد زیست‌توده رازیانه با ۱۲۲۸۶/۴ کیلوگرم در هکتار در کشت خالص و کمترین آن در نسبت ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد ماش با ۵۸۴۳/۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید (شکل ۲). با توجه به تراکم کمتر رازیانه در تیمارهای کشت مخلوط، کاهش عملکرد در این تیمارها نسبت به کشت خالص توجیه‌پذیر است. علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2010) در کشت مخلوط ریحان و لوبیا بیان کردند بیشترین عملکرد دانه ریحان در کشت خالص آن به‌دست آمد که دلیل آن را تراکم بالاتر ریحان در این کشت دانستند. بیشترین عملکرد دانه در کشت مخلوط لوبیا و رازیانه مربوط به تیمار کشت خالص و کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار کشت مخلوط ۵۰ درصد افزایشی بود.



شکل ۱- اثر نسبت‌های کشت مخلوط ماش و رازیانه بر عملکرد دانه و زیست‌توده ماش

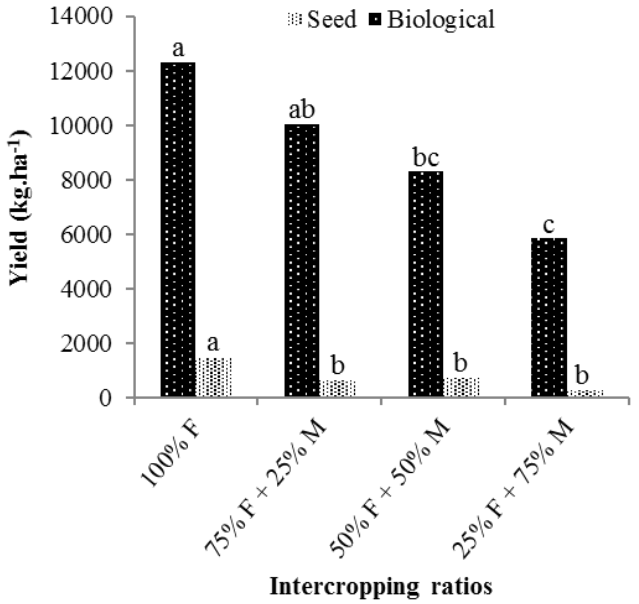
Fig. 1- Effect of intercropping ratios of mung bean and fennel on seed and biological yield of mung beans

M: ماش و F: رازیانه

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

M: Mung Bean and F: Fennel

Means with the same letter(s) have no significant difference at 5% probability level, according to Tukey Test.



شکل ۲- اثر نسبت‌های کشت مخلوط ماش و رازیانه بر عملکرد دانه و زیست‌توده رازیانه

Fig. 2- Effect of intercropping ratios of mung bean and fennel on seed and biological yield of fennel

M: ماش و F: رازیانه

M: Mung Bean and F: Fennel

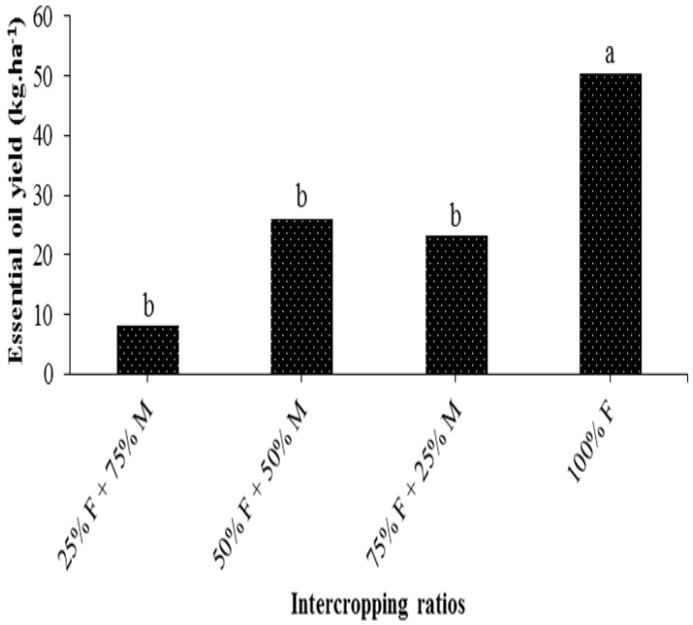
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter(s) have no significant difference at 5% probability level, according to Tukey Test.

نتایج نشان داد، در بین نسبت‌های مختلف کاشت، تیمار کشت خالص رازیانه بیشترین عملکرد زیست‌توده و کشت مخلوط ۵۰ درصد افزایشی کمترین عملکرد زیست‌توده را داشتند (Khamooshi, 2014). کاروبا و همکاران (Carrubba et al., 2008) گزارش کردند که در کشت مخلوط رازیانه و شوید بیشترین عملکرد زیست‌توده هر دو گونه در کشت خالص آن‌ها به‌دست آمد و کمترین عملکرد زیست‌توده رازیانه در تیمار ۳۳:۶۶ به‌دست آمد که رازیانه تراکم کمتری نسبت به شوید داشت. نوربخش (Nurbakhsh, 2013) در کشت مخلوط کنجد و لوبیا بیشترین عملکرد زیست‌توده کنجد را در کشت خالص آن گزارش کرد و اظهار داشت که عدم رقابت بین گونه‌ای در کشت خالص، باعث بهره‌گیری بهتر از منابع به‌ویژه نور و عناصر غذایی شده است.

درصد و عملکرد اسانس رازیانه

بیشترین درصد اسانس رازیانه با ۳/۵۶ درصد در نسبت ۵۰ درصد رازیانه + ۵۰ درصد ماش و کمترین آن در نسبت ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد ماش با ۳/۱ درصد مشاهده گردید (جدول ۶). نتایج آزمایش رنجبر (Ranjbar, 2012) نشان داد که بین تیمارهای مختلف کشت خالص و مخلوط رازیانه- کنجد- لوبیا در مورد درصد اسانس اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. امّا به‌لحاظ مقداری بالاترین درصد اسانس در تیمار کشت مخلوط رازیانه-کنجد و کمترین درصد اسانس در تیمار کشت خالص رازیانه مشاهده شد. در بررسی کشت مخلوط بابونه و همیشه‌بهار مشخص شد که بیشترین مقدار اسانس در نسبت‌های کمتر از ۵۰:۵۰ حاصل شده است (Jahan, 2005). همچنین بیشترین عملکرد اسانس رازیانه با ۵۰/۴ کیلوگرم در هکتار در کشت خالص و کمترین آن در نسبت ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد ماش با ۸/۱ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید (شکل ۳). نتایج پژوهشی بر روی کشت مخلوط سه گونه رازیانه- کنجد- لوبیا نشان داد که بین تیمارهای مختلف کشت خالص و مخلوط در مورد عملکرد اسانس اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. امّا به‌لحاظ مقداری بالاترین عملکرد اسانس در کشت خالص با ۹/۴۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در تیمار کشت مخلوط سه گونه با ۳/۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (Ranjbar, 2012). در مطالعه کشت مخلوط نواری و ردیفی ریحان و لوبیا مشاهده شد که بیشترین عملکرد اسانس ریحان از کشت خالص به‌دست آمد (Alizadeh et al., 2010).



شکل ۳- اثر نسبت‌های کشت مخلوط ماش و رازیانه بر عملکرد اسانس رازیانه

Fig. 3- Effect of intercropping ratios of mung bean and fennel on essential oil yield of fennel

M: ماش و F: رازیانه

M: Mung Bean and F: Fennel

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter(s) have no significant difference at 5% probability level, according to Tukey Test.

شاخص برداشت ماش و رازیانه

بیشترین شاخص برداشت ماش با ۲۸ درصد در نسبت ۲۵ درصد ماش + ۷۵ درصد رازیانه و کمترین آن در نسبت ۵۰ درصد ماش + ۵۰ درصد رازیانه با ۲۳/۵ درصد مشاهده گردید (جدول ۴). شاخص برداشت زنیان در تیمارهای کشت مخلوط با شنبلیله بیشتر از کشت خالص آن بود، به‌طوری‌که تیمار کشت مخلوط سه ردیفی زنیان و شنبلیله بالاترین مقدار (۱۲/۳۹ درصد) و کشت خالص کمترین مقدار (۸/۹۴۲ درصد) را داشت. بالاتر بودن شاخص برداشت در تیمارهای کشت مخلوط نشان می‌دهد که تخصیص مواد فتوسنتزی بین مخزن‌های اقتصادی نسبت به سایر مخزن‌های موجود در گیاه بیشتر بوده است، لذا در این سیستم‌ها نسبت عملکرد دانه به عملکرد زیست‌توده بیشتر شده است (Mirhashemi et al., 2009). پس می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف در شاخص برداشت مربوط به تفاوت در اجزای عملکرد ماش از جمله تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و تعداد دانه در بوته می‌باشد که در نسبت ۲۵ درصد ماش + ۷۵ درصد رازیانه نسبت به کشت خالص بیشتر بوده است. به‌طور کلی، هر چه از تراکم ماش در تیمارها کاسته شد شاخص برداشت افزایش یافت. همچنین، بیشترین شاخص برداشت رازیانه با ۱۲درصد در کشت خالص و کمترین آن در نسبت ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد ماش با ۴/۵ درصد مشاهده گردید (جدول ۶). شاخص برداشت بیان‌کننده نسبت توزیع مواد فتوسنتزی بین عملکرد اقتصادی و عملکرد کل است. در شرایط رقابت شدید با ماش در کشت مخلوط، شاخص برداشت رازیانه نسبت به کشت خالص کاهش نشان داد. با افزایش حضور رازیانه در کشت مخلوط، به‌دلیل سایه‌اندازی و افزایش ارتفاع بوته ناشی از رقابت و به تبع آن رشد رویشی بیشتر، مواد فتوسنتزی به بخش رویشی هدایت شد و سهم بخش زایشی در چنین شرایطی کاهش یافت و در نتیجه، افزایش رشد رویشی سبب افزایش عملکرد زیست‌توده در مقایسه با عملکرد اقتصادی و در نهایت، کاهش شاخص برداشت در نسبت‌های مخلوط در مقایسه با کشت خالص شد. براساس مطالعه صدری و همکاران (Sadri et al., 2014) شاخص برداشت شنبلیله در کشت مخلوط با رازیانه به‌طور بسیار معنی‌داری تحت تأثیر الگوهای کاشت قرار گرفت. بیشترین شاخص برداشت شنبلیله از کشت خالص حاصل شد. اسماعیلی و همکاران (Esmaeili et al., 2011) گزارش کردند سری افزایشی ۱۰۰ درصد جو + ۲۰ درصد یونجه در بررسی کشت مخلوط جو و یونجه دارای کمترین شاخص برداشت یونجه بود. آن‌ها علت کم بودن شاخص برداشت در این الگوی کاشت را رقابت برای نور و در نتیجه، رشد رویشی زیاد دانستند.

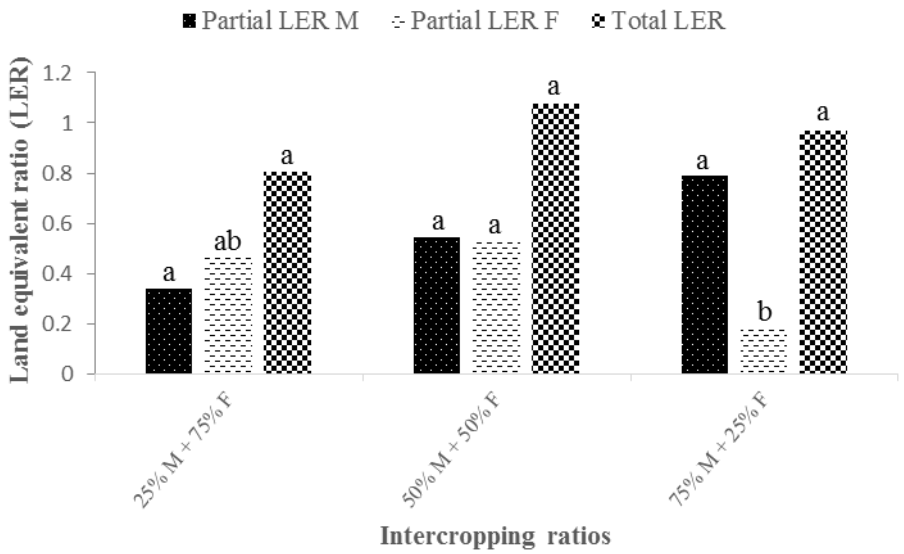
نسبت برابری زمین (LER)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که هیچ کدام از تیمارهای کشت مخلوط از نظر نسبت برابری زمین جزئی برای گیاه ماش اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. با این حال، بیشترین نسبت برابری زمین جزئی ماش مربوط به تیمار ۷۵ درصد ماش + ۲۵ درصد رازیانه معادل ۰/۷ و کمترین نسبت برابری زمین جزئی ماش نیز ۰/۳ که مربوط به تیمار ۲۵ درصد ماش + ۷۵ درصد رازیانه بود، به‌دست آمد (شکل ۴). همچنین، تیمارهای کشت مخلوط از نظر نسبت برابری زمین جزئی برای گیاه رازیانه اختلاف معنی‌داری را با هم نشان دادند ($p\leq$۰/۰۱). بیشترین نسبت برابری زمین جزئی رازیانه معادل ۰/۵، مربوط به تیمار ۵۰ درصد رازیانه + ۵۰ درصد ماش و کمترین نسبت برابری زمین جزئی رازیانه نیز از تیمار ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد ماش معادل ۰/۱ به‌دست آمد (شکل ۴).

به‌طور کلی، نسبت برابری زمین جزئی ماش در اکثر تیمارهای کشت مخلوط از نسبت برابری زمین جزئی رازیانه بیشتر بود که می‌توان نتیجه گرفت، ماش گیاه غالب بوده و از کشت مخلوط با رازیانه اثر مثبت دریافت کرده است که این امر احتمالاً مربوط به بهبود شرایط رشدی می‌باشد. به‌طور کلی، دلیل این امر اختلافات مورفولوژیکی موجود بین قسمت‌های مختلف گیاهان می‌باشد که باعث به حداقل رسیدن رقابت بین آن‌ها برای جذب منابع و در نتیجه، بهبود کارایی مصرف منابع (نور، آب و مواد غذایی) در آن‌ها می‌شود. در کشت مخلوط ماش و رازیانه نیز در کنار تثبیت زیستی نیتروژن توسط ماش و در نتیجه، افزایش حاصلخیزی خاک، اختلافات مورفولوژیکی موجود در ریشه و قسمت‌های هوایی دو گیاه، از یک سو باعث استفاده بهینه از منابع غذایی موجود در خاک و از سوی دیگر، نفوذ بهتر نور به درون کانوپی و استفاده مطلوب‌تر از آن می‌شود.

در بررسی کشت مخلوط زیره سبز و نخود مشخص شد که نسبت برابری زمین جزئی زیره سبز بیشتر از نخود بود (Abbasi Alikamar et al., 2006). در کشت مخلوط نواری لوبیا و گاوزبان مشخص شد

که مقدار نسبت برابری زمین جزئی هر دو گونه با افزایش عرض نوار به‌دلیل رقابت برون‌گونه‌ای کاهش یافت (Koocheki et al., 2012). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که هیچ‌کدام از تیمارهای کشت مخلوط از نظر نسبت برابری زمین کلی اختلاف معنی‌داری را با هم نشان ندادند. در تیمار مخلوط ۵۰ درصد ماش + ۵۰ درصد رازیانه، نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود که این نشان از برتری عملکرد اقتصادی در کشت مخلوط آن تیمار نسبت به کشت خالص است. بیشترین مقدار نسبت برابری زمین کلی (۱/۰۷) از الگوی کشت مخلوط ۵۰ درصد ماش + ۵۰ درصد رازیانه حاصل شد که بیانگر سودمندی زراعی هفت درصدی کشت مخلوط نسبت به کشت‌های خالص این دو محصول نسبت به یکدیگر است که نشان‌دهنده کارایی بیشتر استفاده از زمین در این الگوی کشت می‌باشد. کمترین مقدار نسبت برابری زمین کلی (۰/۸) از الگوی کشت مخلوط ۲۵ درصد ماش + ۷۵ درصد رازیانه به‌دست آمد که هشت درصد کاهش نسبت به تیمارهای خالص نشان داد (شکل ۴). بنابراین، در این تیمار کشت خالص نسبت به کشت مخلوط برتری داشت. کشت مخلوط زمانی سودمند است که عملکرد دانه مخلوط، بیشتر از محصول تک‌کشتی باشد. اضافه عملکرد به‌دست آمده از کشت مخلوط را می‌توان به استفاده بهتر از منابع موجود توسط دو گونه، اختلافات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بین آن‌ها، تثبیت و جذب نیتروژن، کاهش فشار رقابتی بین دو گونه و کاهش رشد و زیست‌توده علف‌های هرز نسبت داد که موجب افزایش کارایی استفاده از زمین (LER) می‌شوند (Vandermeer, 1989; Willey, 1990). در بررسی کشت مخلوط ذرت و باقلا، مقدار نسبت برابری زمین در تمام تیمارهای مخلوط بیشتر از یک به‌دست آمد که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است (Rezaei-Chianeh et al., 2011). در کشت مخلوط رازیانه- کنجد- لوبیا بیشترین میزان نسبت برابری زمین در تیمار کشت مخلوط کنجد- رازیانه با مقدار عددی ۱/۲۲ و کمترین آن ۰/۶ در تیمار کنجد- لوبیا و کنجد- رازیانه- لوبیا مشاهده شد (Ranjbar, 2012).



شکل ٤- اثر نسبت‌های کشت مخلوط ماش و رازیانه بر نسبت برابری زمین

Fig. 4- Effect of intercropping ratios of mung bean and fennel on land equivalent ratio (LER)

M: ماش و F: رازیانه

M: Mung Bean and F: Fennel

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter(s) have no significant difference at 5% probability level, according to Tukey Test.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد و اجزای عملکرد ماش و رازیانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط قرار گرفت. به‌طوری‌که، افزایش درصد حضور هر دو گیاه تا ۷۵ درصد باعث افزایش عملکرد بیولوژیکی و دانه شده و افزایش بیش از این میزان، به‌دلیل افزایش رقابت درون‌گونه‌ای بر سر جذب

منابع محیطی کاهش این صفات را موجب گردید. مقایسه الگوهای مختلف کاشت نشان داد که تیمار کشت مخلوط ۲۵ درصد ماش + ۷۵ درصد رازیانه در بسیاری از صفات مورد ارزیابی در گیاه ماش نسبت به الگوهای دیگر کشت به‌خصوص کشت خالص برتری داشت. این‌طور به نظر می‌رسد که در این نسبت، بوته‌های ماش فضای بیشتری را برای رشد و دریافت نور در اختیار داشتند و توانستند در اکثر صفات مورد ارزیابی برتری داشته باشند. همچنین تیمار کشت مخلوط ۵۰ درصد رازیانه + ۵۰ درصد ماش در بسیاری از صفات مورد ارزیابی در گیاه رازیانه نسبت به الگوهای دیگر کشت برتری داشت. در نسبت کشت مخلوط ۵۰ درصد ماش + ۵۰ درصد رازیانه، نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود که این نشان از سودمندی کشت مخلوط آن تیمار نسبت به کشت خالص است. در نسبت ۵۰ درصد ماش + ۵۰ درصد رازیانه با توجه به اینکه ماش تثبیت زیستی نیتروژن انجام داده و باعث حاصلخیزی خاک شده، رقابت درون‌گونه‌ای که در کشت خالص وجود داشته، در این نسبت کاشت کاهش پیدا کرده و هر دو گیاه با توجه به خصوصیات رشدی خود توانسته‌اند از منابع محیطی به نحو احسنت استفاده کنند که در نتیجه، عملکرد اقتصادی دو گیاه در این نسبت کاشت افزایش یافته و موجب افزایش نسبت برابری زمین کلی شده است. به‌طور کلی، می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که مهم‌ترین مزیت کشت مخلوط اثر تکمیل‌کنندگی آن در استفاده از منابع محیطی است، که نتیجه آن پایداری و افزایش عملکرد کمّی و کیفی، بهبود چرخه عناصر غذایی در خاک و افزایش تنوع می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود، کشت مخلوط حبوبات از جمله گیاه ماش با انواع گیاهان دارویی در منطقه خراسان جزو برنامه‌های کاشت کشاورزان قرار بگیرد.

References

1. Abbasi Alikamar, R., Hejazi, A., Akbari, G.A., Kafi, M., & Zand, E. (2006). Study on different densities of cumin and chickpea intercropping. *Journal of Iranian Field Crop Research*, *4*(1), 83-95. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/gsc.v4i1.1320
2. Abedi, K., & Majde Nasiri, B. (1994). Five years studied of yield comparison and best condition of mung bean cultivation in Isfahan. Center of Research, Education and Extension of Isfahan. (In Persian)
3. Agboola, A.A., & Fayami, A.A. (1972). Fixation and excretion of nitrogen by tropical legumes. *Agronomy Journal*, *64*(4), 409-412. https://doi.org/10.2134/agronj1972.00021962006400040001x
4. Alizadeh, Y., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2010). Investigating of growth characteristics, yield, yield components and potential weed control in intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and vegetative sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agroecology*, *2*(3), 383-397. (In Persian with English Summary) Doi: 10.22067/jag.v2i3.7652
5. Anonymous, (1998). British Pharmacopoeia, Vol. 2. Pharmacopoeia Commission. HMSO, London, UK.
6. Asadi, H. (2007). Effect of sesame and bean intercropping on growth indices and yield components. M.Sc. Thesis Agriculture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
7. Awasthi, U.D., Tripathi, A.K., Dubey, S.D., & Kumar, S. (2011). Effect of row ratio and fertility levels on growth, productivity, competition and economics in chickpea+fennel intercropping system under scarce moisture condition. *Food Legumes*, *24*(3), 211-214.
8. Bagheri, A., Khalilian, S., & Naghdi Badi, H.A. (2005). Medicinal plants in Iran and world. Collection of Articles the National Conference on the Sustainable Development of Medicinal Plants, Mashhad, Iran, 27-29 July 2005, p. 625-626. (In Persian)
9. Behera, A.K., Panda, R.K., & Mishra, S.K. (1994). Intercropping of sesame (*Sesamum indicum*) with green gram (*Phaseolus radiatus*) and black gram (*Phaseolus mungo*) under irrigated condition. *Indian Journal Agronomy*, 39, 618-621.
10. Carrubba, A., LaTorre, R., Saiano, F., & Aiello, P. (2008). Sustainable production of fennel and dill by intercropping. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 247-256. DOI: 10.1051/agro:2007040
11. De Carvalho, L.M., de Oliveira, I.R., Almeida, N.A., & Andrade, K.R. (2011). The intercropping of fennel with beans and cowpeas in the agrestic region of Brazil. *Acta Horticulturae*, 925, 199-204. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.925.29
12. Dhingra, K.K., Dhillon, M.S., Grewal, D.S., & Sharma, K. (1991). Performance of maize and mung bean

intercropping in different planting patterns and row orientations. *Indian Journal Agronomy*, 36, 207-212.

13. Esmaeili, A., Hosseini, M.B., Mohammadi, M., & Hosseinikhah, F.S. (2012). Evaluation of grain yield, dry matter production and some of the forage and silage quality properties in annual medic (*Medicago scutellata*) and spring barley (*Hordeum vulgare*) intercropping. *Seed and Plant Production Journal*, *28*(3), 277-296. (In Persian) DOI: 10.22092/SPPJ.2017.110476
14. Fernandez-Aparicio, M., Sillero, M.J.C., & Rubials, D. (2007). Intercropping with cereals reduces infection by *Orobanche crenata* in legumes. *Crop Protection*, *26*(8), 1166-1172. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.10.012
15. Fininsa, C. (2003). Relationship between common bacterial blight severity and bean yield loss in pure Stan and bean-maize intercropping systems. *International Journal of Pest Management*, *49*(3), 177-185. DOI: 10.1080/0967087021000049269
16. Gul, R., Khan, H., Mairaj, Mairaj, G., Ali, S., Farhatullah, & Ikramullah. (2008). Correlation study on morphological and yield parameters of mung bean (*Vigna radiata* L.). *Sarhad Journal Agriculture*, *24*(1), 37-42.
17. Haggaard, H., Ambus, P., & Jensen, E.S. (2001). Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. *Field Crop Research*, *70*(2), 101-109. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00126-5
18. Hulet, H., & Gosseye, P. (2000). Effect of intercropping cowpea on dry-matter and grain yield of millet in the semi-arid zone of Mail, http://www.fao.org/ Wairdocs/ ILRI/ x 5488E/ x5488e0r. Htm.
19. Hussain, S.A., Ali, N., Rab, A., & Hashemi, A. (2005). Intercropping effect on growth and yield of winter vegetables. *Sarhad Journal Agriculture*, 21, 345-350.
20. Jahan, M. (2005). Evaluation ecological aspects of intercropping of chamomile and marigold. M.Sc. Thesis Agriculture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
21. Jahani, M., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2008). Comparison of different intercropping arrangements of cumin (*Cuminum cyminum*) and lentil (*Lens culinaris*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *6*(1), 67-78. (In Persian) DOI: 10.22067/GSC.V6I1.1177
22. Khamooshi, A. (2014). Effects of planting ratio in intercropping of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and fennel (*Foenicolum vulgare* Mill.) in an additive and substitution experiment on species growth and yield. M.Sc. Thesis Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
23. Kiani, S., Moradi Telavat, M.R., Siadat, S.A., Abdali Mashhadi, A.R., & Sari, M., 2015. Evaluation of qualitative and quantitative of forage yield in intercropping of barley (*Hordeum vulgare* L.) and fennel (*Foeniculum vulgare* L.) at different levels of nitrogen. *Journal of Agricultural Crop Management*, *16*(4), 973-986. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22059/jci.2015.53591
24. Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., & Amin Ghafouri, A. (2012). Row intercropping of borage (*Borago officinalis* L.) with bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on possible evaluating of the best strip width and assessing of its ecological characteristics. *Journal of Agroecology*, *4*(1), 1-11. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22067/JAG.V4I1.14951
25. Kumar, A., Singh, R., & Chhillar, R.K. (2006). Nitrogen requirement of fennel (*Foeniculum vulgare*) based cropping systems. *Indian Journal of Agricultural Science*, *76*(10), 599-602.
26. Lithourgidis, A.S., Dhima, K.V., Vasilakoglou, I.B., Dordas, C.A., & Yiakoulaki, M.D. (2007). Sustainable production of barley and wheat by intercropping common vetch. *Agronomy for Sustainable Development*, *27*(2), 95-99. https://hal.science/hal-00886333
27. Maffei, M., & Mucciarelli, M. (2003). Essential oil yield in peppermint/soybean strip intercropping. *Field Crops Research*, *84*(3), 229-240. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00092-3
28. Majnoon Hosseini, N., & Colar, G.S. (1988). Study of weed control in mixed cropping of cowpea and mung bean. *Iranian Journal of Agriculture Science*, *19*(1 & 2), 9-12. (In Persian with English Summary)
29. Mandal, B.K., Dhara, M.C., Mandal, B.B., Das, S.K., & Nandy, R. (1990). Rice, mung bean, soybean, peanut, rice, bean, and black gram yields under different intercropping systems. *Agronomy Journal*, *82*(6), 1063-1066. https://doi.org/10.2134/agronj1990.00021962008200060006x
30. Mandal, B.K., Saha, S., & Jana, T.K. (2000). Yield performance and complementarity of rice (*Oryza sativa*) with green gram (*Phaseolus radiatus*), black gram (*Phaseolus mungo*) and pigeon pea (*Cajanus cajan*) under different rice-legume associations. *Indian Journal Agronomy*, *45*(1), 41-47.
31. Mansouri, L., Jamshidi, K., Rastgoo, M., Saba, J., & Mansouri, H. (2013). The effect of additive maize-bean intercropping on yield, yield components and weeds control in Zanjan climate conditions. *Iranian Journal of Field*

Crops Research, *11*(3), 483-492. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22067/GSC.V11I3.29751

32. Mazaheri, D., Parsio, B., & Peighambari, S.A. (2001). Study of growth analysis in monoculture and intercropping of soybean. *Journal of Research and Construction*, 54, 37-54.
33. Mirhashemi, M. (2006). Evaluation of Ajowan with Fenugreek intercropping with an emphasis on the principles of biological agriculture (organic). M.Sc. Thesis Agriculture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
34. Mirhashemi, S.M., Koocheki, A., Parsa, M., & Nassiri Mahallati, M. (2009). Evaluating the benefit of Ajowan and Fenugreek intercropping in different levels of manure and planting pattern. *Journal of Iranian Field Crops Research*, *7*(1), 259-269. (In Persian with English Summary) DOI: 20.1001.1.20081472.1388.7.1.26.4
35. Naghipoor Dehkordi, P. (2015). Evaluation of yield, yield components, and radiation use efficiency in intercropping of three medicinal plants of black seed, borago, and marigold. M.Sc. Thesis Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
36. Nurbakhsh, F. (2013). Comparison between different indices for evaluation of mixed and row intercropping of sesame and bean. M.Sc. Thesis Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
37. Omidbeigi, R. (2003). Fennel. Publishers of Promotion Media Planning Office, Office of Flower and Ornamental Plants, Medicinal and Edible Mushrooms of Ministry of Agriculture, 15 p. (In Persian)
38. Pandita, A.K., Saha, M.H., & Bali, A.S. (2000). Effect of row ratio in cereal-legume intercropping systems on productivity and competition functions under Kashmir conditions. *Indian Journal Agronomy*, *45*(1), 48-53.
39. Ranjbar, F. (2012). Assessment of growth indices and yield of intercropped Fennel (*Foeniculum vulgar*), sesame (*Sesamum indicum*), and bean (*Phaseolus vulgaris*). M.Sc. Thesis Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
40. Rezaei-Chianeh, E., Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Shakiba, M.R., Ghassemi-Golezani, R., Aharizad, K., & Shekari, F. (2011). Intercropping of maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) at different plant population densities. *African Journal of Agricultural Research*, *6*(7), 1786-1793. DOI: 10.5897/AJAR10.288
41. Rezaei-Chianeh, E., Valizadehgan, O., Tajbakhsh, M., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., & Rimaz, V. (2014). Evaluation of agronomical yield and insect diversity at different intercropping patterns of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and dill (*Anethun graveolens* L.). *Journal of Agricultural Crop Management*, *16*(2), 353-368. https://doi.org/10.22059/jci.2014.53048
42. Rezvan Beidokhti, S.H. (2004). Comparison of various combinations of maize and bean in intercropping. M.Sc. Thesis Agriculture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
43. Rezvani Moghaddam, P., Raoofi, M.R., Rashed Mohassel, M.H., & Moradi, R. (2009). Evaluation of sowing patterns and weed control on mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek)-black cumin (*Nigella sativa* L.) intercropping system. *Journal of Agroecology*, *1*(1), 65-79. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22067/JAG.V1I1.2655
44. Rostami, L. (2009). Evaluation of yield, yield components, and radiation use efficiency in different densities of intercropping corn (*Zea mays* L.) with bean (*Phaseolus vulgaris* L.). M.Sc. Thesis Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
45. Roy, D.K. (1997). Production potential of rice (*Oryza sativa*)-based cropping systems under deep water ecosystem of north Bihar. *Indian Journal Agronomy*, 42, 570-572.
46. Sadri, S., Pouryousef, M., Soleimani, A., Barzegar, T., & Jamshidi, K. (2015). Evaluation of agronomical traits fennel (*Foeniculum vulgare Mill*)–fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in intercropping. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *45*(4), 593-602. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22059/IJFCS.2014.53569
47. Seddighi Dehkordi, F., Hemmatzadeh, A., & Nazarpoor, M. (2011). Evaluation of advantage fennel and *Carum copticum* intercropping in different levels of sowing dates and the distance between the planting rows. The Seventh Congress of Iranian Horticultural Science, Industrial University of Isfahan, Iran, 5-8 September 2011: 3. (In Persian)
48. Siame, J.R., Willey, W., & Morse, S. (1998). The response of maize–phaseolus intercropping to applied nitrogen on oxisols in Northern Zambia. *Field Crops Research*, *55*(1-2), 73-81. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00063-4
49. Vandermeer, J.H. (1989). The Ecology of Intercropping, Cambridge, University Press, 297 p.

50. Willey, R.W. (1990). Resources use in intercropping systems. *Journal of Agricultural Water Management*, *17*(1-3), 215-231. https://doi.org/10.1016/0378-3774(90)90069-B
51. Yildirim, E., & Guvenc, I. (2005). Intercropping based on cauliflower: More productivity, profitable and highly sustainable. *European Journal of Agronomy*, *22*(1), 11-18. https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.11.003

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

Research Article
Vol. 15, No. 3, Fall 2023, p. 447-465

Investigation of Below-Ground Interspecific Interaction in the Intercropping Culture of Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) and Niger (*Guizotia abyssinica* Cass.)

Meisam Namdari[1], Rahmat Abbasi[2]*, Hemmatolaah Pirdashti[3] and Faezeh Zaefarian[2]

Received: 06-06-2021
Revised: 11-09-2021
Accepted: 22-09-2021
Available Online: 22-09-2021

How to cite this article:
Namdari, M., Abbasi, R., Pirdashti, H., & Zaefarian, F. (2022). Investigation of below-ground interspecific interaction in the intercropping culture of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) and niger (*Guizotia abyssinica* Cass.). *Journal of Agroecology, 15(3)*,447-465.
DOI: 10.22067/agry.2021.70707.1048

Introduction

Most research on intercropping cultivation in the past has focused on seed yield and yield components, and less attention has been paid to below-ground interaction processes. However, the connection of plants in the below-ground sector is a vital issue in identifying the mechanism of competition and productivity in intercropping cultivation. Meanwhile, the selection of a legume plant due to the biological nitrogen fixation (BNF) increases the productivity in intercropping cultivation. However, the component crop in intercropping cultivation can affect the BNF by the legume component component. Therefore, creating the optimum conditions for the BNF in planting ratios plays an essential role in the dynamics of inter-species interaction. Therefore, this study aimed to evaluate the interactions of the below-ground sector and the percentage of nitrogen derived from the atmosphere in different ratios of intercropping cultivation.

Material and Methods

A field experiment was conducted for two years (2018-19) at the research farm of Sari Agricultural Science and Natural Resources University, Iran (33º, 36′ N, 53º, 03′ E with 43 m altitude). The experimental design was a randomized complete block with four replications. The experimental treatment was 75% soybean + 25% niger, 50% soybean + 50% niger, and 25% Soybean+75% niger based on the replacement method and monoculture. For example, a 25:75 combination consisted of three rows of planting a soybean and one row of niger, and vice versa in the 75:25 combinations. The 50:50 also included planting two rows of each of the studied plants. This study investigated the percentage of nitrogen derived from the atmosphere, nitrogen yield, total enzymatic activity of the soil, and root activity in different planting ratios.

1-Ph.D. Student of Agronomy, Department of Agronomy, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.
2- Assistant Professor, Professor and Associate Professor, Agronomy, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran, respectively.
3-Department of Genetic & Agricultural Biotechnologhy Institute of Tabarestan, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
(*- Corresponding author's Email: r.abasi@sanru.ac.ir)

Results and Discussion

The percentage of nitrogen derived from the atmosphere (Ndfa) in all different planting ratios was higher than in a single soybean crop. This trend continued until it reached 90 days after planting. At 75 and 90 days after planting, the highest Ndfa is related to 50:50 and 75:25 planting ratios in both cultivation years. Also, the yield of Ndfa was higher than expected in planting ratios, and its value increased further as it approached the final stages of growth. In addition to the above, soil's total microbial activity in different intercropping cultivation ratios was higher than the monoculture of the studied plants. Its amount in a 50:50 planting ratio was 16.38 and 31.69% higher than monoculture soybean (0: 100) and niger (0: 100) at 60 days after planting, respectively. The most increased total microbial activity of the ground in niger and soybean plants in the middle and late stages of growth was observed at a depth of 0-20 and 10-30 cm, respectively. Also, niger plant in different ratios of intercropping cultivation, while increasing root activity, have a higher number of secondary compounds in root extract. In general, the increase in root activity in the late stages of growth was accompanied by a decrease in the number of rows of niger plants, especially in the planting ratio of 75:25. Also, the total phenol and flavonoids in the niger root extract increased to 105 days after planting and then decreased. Thus, in general, different ratios of intercropping cultivation were more successful in producing secondary compounds than the monoculture of niger.

Conclusion

Increasing the significance of nitrogen derived from the atmosphere and the other activity of niger root as a complementary plant in intercropping cultivation ratios can play an essential role in the dynamics of underground sector interactions in intercropping cultivation patterns. In addition to the above results and based on the total microbial activity of the soil, the complementary structure of niger and soybean root in intercropping cultivation can affect the ability of interspecific competition in intercropping cultivation by distinguishing ecological niches even in a short period.

Keywords: Nitrogen derived from the atmosphere, Root extract, Secondary compounds, Total microbial activity

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ٤٦٤-٤٤٧

بررسی تعاملات بین گونه‌ای بخش زیرزمینی در کشت مخلوط گیاه سویا (*Glycine max* (L.) Merrill) و دان‌سیاه (*Guizotia abyssinica* Cass.)

میثم نامداری[۱]، رحمت عباسی[۲]*، همت‌الله پیردشتی[۳] و فائزه زعفریان[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۶/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱

چکیده

ارتباط بین گونه‌ای گیاهان در بخش زیرزمینی یک موضوع کلیدی جهت شناسایی ساز و کار رقابت و بهره‌وری در کشت مخلوط است. بنابراین، به منظور ارزیابی تعاملات بخش زیرزمینی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط گیاه دان‌سیاه (*Guizotia abyssinica* Cass) و سویا (*Glycine max* (L.) Merrill) آزمایشی در دو سال زراعی (۹۷- ۱۳۹۶و ۹۸- ۱۳۹۷) و به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل نسبت‌های کاشت ۱۰۰:۰، ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰، ۲۵:۷۵ و ۰:۱۰۰ (به‌ترتیب دان‌سیاه- سویا) به‌روش جایگزینی بودند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی، میزان فعالیت کل میکروبی خاک، فعالیت ریشه و مقدار فنول و فلاونوئید موجود در عصاره ریشه گیاه دان‌سیاه داشتند. تمامی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در مقایسه با تیمار کشت خالص دارای قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن بیشتری بودند. بیشترین افزایش درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در هر دو سال زراعی مربوط به مرحله ۹۰ روز پس از کاشت بود. در این مرحله نسبت کاشت ۵۰:۵۰ به‌ترتیب در سال‌های مورد مطالعه با میانگین ۸۵/۴۶ و ۹۱/۵۸ درصد بیشترین درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی را در اختیار داشت. علاوه‌بر مطالب مذکور مجموع فعالیت کل میکروبی خاک در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص گیاهان مورد مطالعه بود و در مرحله ۶۰ روز پس از کاشت نسبت کاشت ۵۰:۵۰ با میانگین ۳۴/۵۶ ($\mu g.Fluorecsceine.g^{-1}.h^{-1}$) دارای بیشترین میزان فعالیت میکروبی خاک بود. همچنین گیاه دان‌سیاه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط ضمن افزایش فعالیت ریشه از میزان فنل و فلاونوئید بیشتری نیز در عصاره ریشه برخوردار بود. نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نیز از نظر تولید ترکیبات ثانویه موفق‌تر از کشت خالص گیاه دان‌سیاه عمل کردند. در نهایت، افزایش معنی‌داری درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی و علاوه‌بر آن فعالیت بیشتر ریشه گیاه دان‌سیاه به‌عنوان گیاه مکمل در نسبت‌های کشت مخلوط می‌تواند نقش مهمی در پویایی تعاملات بین‌گونه‌ای در بخش زیرزمینی در الگوی کشت مخلوط داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: ترکیبات ثانویه، عصاره ریشه، فعالیت کل میکروبی خاک، نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیک

مقدمه

علاقه به کشت مخلوط در کشاورزی پایدار درحال افزایش و

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۲- به‌ترتیب استادیار و دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۳- استاد، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: r.abasi@sanru.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2021.70707.1048

تعداد تحقیقات علمی در این خصوص به‌شدت افزایش یافته است (Stomph et al., 2020). بیشتر تحقیقات در زمینه کشت مخلوط در گذشته مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد گیاه بوده و فرآیندهای درون‌گیاهی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این در حالی است که مزیت و برتری کشت مخلوط به درک فیزیولوژی گونه‌ها در طی رشد، سازگاری، ساختار ریشه، کانوپی و در مجموع، اثرات متقابل در دو بخش بالایی و زیرزمینی بستگی دارد (Machado, 2009). از آنجا که اثرات متقابل و کارایی بخش زیرزمینی در ارتباط با موجودات زنده متأثر از سیستم‌های کشت و شرایط محیطی رشد می‌باشد، لذا کاربرد گیاه لگوم در کشت مخلوط می‌تواند ضمن افزایش کارایی تثبیت نیتروژن، رویکردی پایدار برای برطرف کردن نیازهای نیتروژن گیاه زراعی به‌خصوص در سیستم‌های کشت کم‌نهاده و محیط‌های محدودکننده باشد (Corre-Hellou et al., 2007; Islam & Adjesiwor, 2018). علاوه‌بر مطالب مذکور در کشت مخلوط اثر آشیان‌های جداگانه اکولوژیکی به افزایش بهره‌وری به‌خصوص در گونه‌های غیر تثبیت‌کننده نیز کمک می‌کند. در این راستا، نتایج مطالعه پژوهشگران نشان داد، ایجاد شرایط مناسب برای تثبیت بیولوژیکی نیتروژن گیاه لگوم، نکته کلیدی در پویایی تعامل بین گونه‌ای است. به نحوی‌که تحت شرایط کمبود نیتروژن، کشت مخلوط باقلا (*Vicia faba* L.) با کلزا (*Brassica napus* L.) اثر مثبتی بر ماده خشک و تجمع میزان نیتروژن کلزا در مقایسه با کشت خالص داشت. بنابراین، برای درک کامل چگونگی برهم‌کنش بین گیاهان، شناخت و عکس‌العمل به گیاهان مجاور بسیار مهم است (Jamont et al., 2013). بیشتر گزارش‌ها در خصوص شناسایی و پاسخ به گیاهان مجاور بر ساز و کار اجتناب متمرکز شده است. هر چند یافته‌های اخیر محققان یک نقش جدید اکولوژیکی برای رفتار غیرمنطقی گیاهان را در بخش‌زیرزمینی آشکار می‌سازد (Callaway, 2002). در طول دوره رشد، ریشه گیاهان ترکیبات آلی را در محیط اطراف خود آزاد می‌کنند. این فرآیند که رسوبات یا ترشحات ریشه نامیده می‌شود، به لحاظ اکولوژیکی اهمیت زیادی در برقراری ارتباط با ریزجانداران، تحرک و انتقال عناصر غذایی در گیاهان مجاور دارد (Islam & Adjesiwor, 2018). بخشی از این ارتباط می‌تواند از طریق ترکیبات آلی مانند فلاونوئیدها انجام شود که نقش مؤثری در دسترسی به عناصر غذایی از طریق تغییرات در خصوصیات شیمیایی خاک دارند. ترشح فلاونوئیدها به‌میزان ذخیره نیتروژن بیرونی نیز بستگی داشته و افزایش کاربرد میزان کود نیتروژنه می‌تواند منجر به اثرات بازدارندگی در ترشح فلاونوئیدها از ریشه‌های گیاه شود (Cesco et al., 2010). همچنین نتایج مطالعات نشان داد، در کشت مخلوط تعاملات گیاهان در بخش‌زیرزمینی می‌تواند باعث افزایش فعالیت ریشه گیاهان شود (Zhang et al., 2013). علاوه‌بر آن افزایش فعالیت کل میکروبی خاک در عمق‌های مختلف خاک (۴۰-۰ سانتی‌متر) در کشت مخلوط سیب زمینی با لوبیا لیما (*Phaseolus lunatus*) و لوبیا پیچک (*Lablab purpureus*) در مقایسه با کشت خالص توسط برخی دیگر از محققان مشاهده شده است (Nyawade et al., 2019).

به‌طور کلی، اتکای بیشتر سیستم کاشت به تثبیت بیولوژیکی گیاه لگوم می‌تواند ضمن بهبود عملکرد و اجزای عملکرد باعث افزایش درصد نیتروژن موجود در بخش زیرزمینی شود. بر این اساس، نتایج مطالعه نسبت‌های کشت مخلوط نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) – جو (*Hordeum vulgare* L.) در اراضی ارگانیک اروپای مرکزی نشان داد در هر سه فصل کاشت، نیتروژن بخش بالایی گیاه نخودفرنگی حاصل از تثبیت بیولوژیکی در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود و کشت مخلوط به‌طور میانگین ۴۰-۳۰ درصد کارایی بیشتری در استفاده از نیتروژن در مقایسه با کشت خالص هر یک از گیاهان مذکور داشت. آن‌ها دلیل این امر را تسهیل در تعاملات ریشه گیاهان مذکور در کشت مخلوط دانستند (Hauggaard-Nielsen et al., 2009). برخی دیگر از پژوهشگران نیز افزایش تعداد و وزن خشک گره‌تثبیت‌کننده نیتروژن باقلا را در کشت مخلوط با گندم (*Triticum aestivum* L.) ، ناشی از افزایش میزان فلاونوئیدها دانستند و دلیل این امر را به تسهیل رقابت بین گونه‌ای و آزادسازی ترشحات غنی‌تر نسبت دادند که منابع کربن بیشتری را برای رشد و تکثیر باکتری *رایزوبیوم* در ریزوسفر فراهم می‌نماید (Liu et al., 2017). در همین راستا، افزایش ترشحات فلاونوئیدها در کشت مخلوط باقلا- گندم و نقش تأثیرگذار الگوی کشت مخلوط، کاربرد نیتروژن و برهم‌کنش گیاهان به‌ویژه در مرحله گل‌دهی بر مقدار آن نیز توسط برخی دیگر از محققان گزارش شده است (Yingchao et al., 2019). نتایج به‌دست آمده از یک مطالعه بلندمدت در خصوص کشت مخلوط باقلا با گندم نیز، افزایش ۱۱ درصدی میزان نیتروژن آلی، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، میانگین زیست‌توده ریشه و مقدار کربن آلی خاک را در کشت مخلوط نشان داد (Cong et al., 2014).

در نهایت، ارتباط بین گونه‌ای گیاهان در بخش زیرزمینی اکنون به‌عنوان یک موضوع کلیدی مورد توجه قرار گرفته و این امر به تحقیقات جهت افزایش درک و فهم در مدیریت سیستم‌های کشت مخلوط نیازمند است. در این بین، گیاه دارویی-روغنی دان سیاه (*Guizotia abyssinica* Cass.) به‌عنوان گیاهی دولپه، یک‌ساله از خانواده گل‌ستاره با قدرت سازگاری بالا و نیاز اقلیمی پایین (Ranganatha et al., 2016) می‌تواند به‌عنوان یک گیاه مکمل نقش مهمی در برقراری ارتباط و رقابت در کشت مخلوط با گیاه سویا (*Glycine max* (L.) Merrill) داشته باشد که در بین گیاهان لگوم دانه‌ای بیشترین میزان فعالیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن را در اختیار دارد (Hangria & Mendes, 2015). از آنجا که کاربرد گیاهان با خصوصیات و پتانسیل رقابتی مختلف می‌تواند نقش مهمی در شناسایی ارتباط بین‌گونه‌ای در کشت مخلوط داشته باشد، لذا این پژوهش به‌منظور بررسی تعاملات در بخش زیرزمینی و نقش آن بر تثبیت بیولوژیکی گیاه سویا و همچنین میزان فعالیت ریشه، ترشحات برخی ترکیبات ثانویه و میزان کل فعالیت میکروبی خاک در گیاه همراه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در طی دو سال زراعی (۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با عرض جغرافیایی ′۳۳، °۳۶ شمالی و طول جغرافیایی ′۰۳، °۵۳ شرقی و ارتفاع ۴۳ متر از سطح دریا به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. گیاه دان‌سیاه و سویا رقم ساری (J.K.695) در نسبت‌های کاشت ۲۵:۷۵ (۱:۳)، ۵۰:۵۰ (۲:۲) و ۷۵:۲۵ (۳:۱) به همراه کشت خالص گیاه سویا ۱۰۰:۰ (۴:۰) و دان‌سیاه ۰:۱۰۰ (۰:۴) به‌روش جایگزینی قرار گرفتند. چهار ردیف از هر کرت به‌عنوان مبنا در تعیین نسبت‌های مختلف در نظر گرفته شد و اعداد داخل پرانتز به ترتیب نشان‌دهنده تعداد ردیف کاشت گیاه دان‌سیاه-سویا است. پس از تهیه بذور گیاهان سویا و دان‌سیاه به‌ترتیب از مرکز تحقیقات شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی شهرستان ساری و شرکت پاکان بذر اصفهان، عملیات کاشت در هر دو سال زراعی در تاریخ ۱۵ اردیبهشت به‌صورت هیرم‌کاری و به‌طریقه دستی انجام شد. بذور سویا پیش از کاشت با باکتری *رایزوبیوم ژاپونیکوم* (با تراکم سلولی $۲×۱۰^{۷}$) تلقیح گردید. تعداد خطوط کاشت در هر کرت ۱۲، فاصله بین خطوط ۳۵ سانتی‌متر، طول خطوط چهار متر و تراکم نهایی برای هر دو گیاه به‌طور ثابت ۲۸ بوته در مترمربع بود (Kasle et al., 2020; Carciochi et al., 2019). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری پیش از کاشت تعیین و بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل آزمون خاک (جدول ۱) در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ به‌میزان ۹۰ کیلوگرم فسفر و ۶۶ کیلوگرم پتاس و در سال زراعی ۹۹- ۱۳۹۸ به‌میزان ۳۳ کیلوگرم فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم تأمین شد. قابل ذکر است آزمایش در سال زراعی دوم نیز در زمین کشت شده در سال اول انجام شد. آبیاری گیاهان به‌صورت قطره‌ای به‌کمک دستگاه تانسیومتر در پتانسیل ماتریک ۰/۴ – بار و عملیات وجین به‌صورت دستی در چهار مرحله و با فاصله زمانی ۱۴ روز انجام شد. عملیات برداشت در تاریخ پنجم آبان ماه و پس از حذف ردیف‌های طرفین و ۰/۵ متر از دو طرف هر کرت به‌عنوان اثرات حاشیه، با دست و به‌وسیله قیچی باغبانی از چهار ردیف میانی و سطحی معادل ۴/۲ مترمربع انجام شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش

Table 1- Result of soil analysis of experimental field

سال Year	عمق نمونه‌برداری Depth (cm)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت Texture	ماده آلی Organic matter (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P_2O_5 mg.kg^{-1}	پتاسیم K_2O mg.kg^{-1}	هدایت الکتریکی EC×10^{-3} (dS.m^{-1})	اسیدیته pH
2018	0-30	28	39	33	لوم رسی Clay-loam	1.21	0.06	1.3	95	0.51	8.04
2019	0-30	26	40	34		1.83	0.09	4	163	0.61	7.74

جهت محاسبه درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی گیاه سویا از تکنیک استخراج اورئید از آوند چوب (Unkovich et al., 2008) استفاده شد. این عملیات در طی شش مرحله از زمان ۴۵ روز پس از کاشت با فاصله زمانی هر ۱۵ روز یک بار و در مراحل ۴۵ (V_{12} انتهای رشد رویشی)، ۶۰ (R_1 آغاز گل‌دهی)، ۷۵ (R_2 پایان گل‌دهی)، ۹۰ (R_3 آغاز غلاف‌دهی)، ۱۰۵ (R_4 پایان غلاف‌دهی) و

۱۲۰ (R_5 آغاز دانه‌بندی) روز پس از کاشت (Fehr et al., 1971) انجام شد. به‌طور خلاصه جهت انجام عملیات مذکور، ابتدا با استفاده از قیچی باغبانی ساقه‌های با قطر بیشتر از سه میلی‌متر، نزدیک به سطح زمین قطع و بلافاصله ساقه جدا شده به درون لوله‌های لاستیکی سیلیکون یا لاتکس با قطر داخلی کوچک‌تر از ساقه وارد و با استفاده از یک اتصال‌دهنده با اندازه مناسب روی یک سوزن سرنگ دو طرفه قرار گرفت. سپس سوزن از طریق پیستون لاستیکی به لوله آزمایش پنج میلی‌لیتری که از طریق یک اتصال سوزن سرنگ و یک خط پلاستیکی لوله انعطاف‌پذیر به یک پمپ خلأ متصل است، وارد و سپس خلأ (۶۰–۷۰ کیلو پاسکال) اعمال و نمونه‌های شیره آوند چوب استخراج شد. به‌طور خلاصه، سنجش میزان اورئید با دستگاه اسپکتوفتومتر[1] و به‌کمک ترسیم منحنی استاندارد آلانتوئین ($y=7.3215x+0.0725,\ R^2=0.99$) در طول موج ۵۲۵ نانومتر (Yong & Conway, 1942)، آمینو–نیتروژن با معرف نین‌هیدرین و با ترسیم منحنی استاندارد آسپاراژین/گلوتأمین ($y=1.2222x+0.0010,\ R^2=0.99$) در طول موج ۵۷۰ نانومتر (Herridge, 1984) و در نهایت، نیترات نیز به‌کمک ترسیم منحنی استاندارد نیترات پتاسیم ($y=0.0576x+0.0368,\ R^2=0.99$) در طول موج ۴۱۰ نانومتر (Cataldo et al., 1975) تعیین گردید. در نهایت، مقدار اورئید، آمینو و نیترات از معادله ۱، فراوانی اورئید (Ru-N) از معادله ۲ و نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی با کالیبراسیون میزان فراوانی نسبی اورئید در مراحل رشد مذکور با مقادیر ایزوتوپ ^{15}N از طریق معادله ۳ تعیین شد (Unkovich et al., 2008).

معادله (۱)

$$Sa_C = St_{C.} \times (O.D_S / O.D._S) \times D_i$$

معادله (۲)

$$Ru\text{-}N\ (\%) = [4\times ureide\ /\ (4\times ureide + nitrate + amino\text{-}N)] \times 100$$

معادله (۳)

$$Ru\text{-}N(\%) = 0.64\ Ndfa + 7.7 \quad \text{(گل‌دهی)}$$

$$Ru\text{-}N(\%) = 0.64\ Ndfa + 15.9 \quad \text{(پس از گل‌دهی)}$$

در معادله‌های فوق، $Sa_{.C.}$: غلظت نمونه، $St_{.C.}$: غلظت استاندارد، $O.D._{Sa}$: تراکم بصری نمونه، $O.D._{St}$: تراکم بصری استاندارد، D_i: غلظت محلول رقیق شده، Ru-N: فراوانی نسبی اورئید و Ndfa: درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی می‌باشند.

برای تعیین میزان کل فعالیت میکروبی خاک نیز طی دو مرحله (۶۰ روز پس از کاشت و رسیدگی) نمونه خاک به‌کمک لوله حفاری دستی[2] از عمق ۱۰–۰، ۲۰–۱۰ و ۳۰–۲۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. بدین ترتیب که از چهار ردیف میانی در کرت‌های آزمایش شش نمونه‌برداری با فاصله ۲۰ سانتی‌متر انجام و نمونه‌ها از الک نمره ۱۸ (یک میلی‌متری) عبور داده شد. پس از آن، میزان فعالیت کل میکروبی با استفاده از فلورسئین استات[3] (FDA) اندازه‌گیری شد (Adam & Duncan, 2001). به‌طور خلاصه، دو گرم از نمونه خاک تهیه شده با ۱۵ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات ۶۰ میلی‌مولار مخلوط و مقدار ۰/۲ میلی‌لیتر محلول ($1000\mu g.ml^{-1}$) FDA برای شروع واکنش به آن اضافه شد. همچنین محلول بلانک بدون اضافه کردن FDA تهیه شد. سپس به هر یک از نمونه‌ها پس از قرار گرفتن روی شیکر با دور ۱۰۰ به‌مدت ۲۰ دقیقه، ۱۵ میلی‌لیتر محلول حجمی (۲:۱) متانول/کلروفرم اضافه گردید و به‌مدت سه دقیقه درون سانتریفیوژ[4] با دور ۲۰۰۰ قرار گرفت. پس از عبور نمونه‌ها از کاغذ صافی نمره دو، تراکم بصری به‌کمک دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۴۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. سپس میزان فعالیت میکروبی خاک بر اساس میکروگرم فلورسئین در هر گرم خاک در ساعت به‌کمک ترسیم منحنی کالیبراسیون ($y=0.0109x+0.0426,\ R^2=0.94$) مشخص گردید.

جهت تعیین میزان فلاونوئید و فنول در عصاره ریشه گیاه همراه، ابتدا پس از انجام عملیات آبیاری تعداد دو گیاه از هر تیمار انتخاب و با توجه به نوع ریشه گیاه دان‌سیاه، به‌کمک بیلچه و فشار کنترل شده آب، ریشه‌ها از خاک مرطوب جدا و سپس برای پاک کردن خاک چسبیده به آن به‌دقت شسته شدند. در نهایت، عملیات شستشوی نهایی نیز با آب مقطر انجام شد. عملیات مذکور ۴۵ روز پس از کاشت و در شش مرحله با فاصله زمانی ۱۵ روز انجام گردید. پس از آن، ریشه‌ها در آون الکتریکی تهویه‌دار با درجه حرارت ۷۰°C به‌مدت دو روز خشک و سپس ۰/۵ گرم از پودر با پنج میلی‌لیتر حلال در لوله سانتریفیوژ ریخته شد. مخلوط ابتدا به‌مدت سه ساعت روی شیکر با دور ۳۰۰ قرار گرفته و سپس به‌مدت ۱۲ ساعت در تاریکی نگهداری شد. پس از آن، عصاره‌ها به سانتریفیوژ با سرعت ۳۰۰۰ دور به‌مدت

1- Hanon, i3 UV-VIS

2- Auger

3- Fluorescein diacetate (FDA)

4- Universal, 4000 rpm

۱۰ دقیقه منتقل و مایع رویی (سوپرناتانت) برداشت و وارد لوله‌های جدید شده و باقی‌مانده‌ها با پنج میلی‌لیتر حلال برای بار دوم استخراج شدند (Xu & Chang, 2007). میزان فلاونوئید در عصاره ریشه در هر یک از تیمارها با معرف آلومینیوم کلراید در طول موج ۵۱۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری و به‌کمک ترسیم منحنی کالیبراسیون کرستین ($y=0.0034x+0.0378,\ R^2=0.99$) بر اساس میکروگرم کرستین در هر میلی لیتر عصاره تعیین شد (Heimler et al., 2005). میزان کل فنول در عصاره ریشه نیز در هر یک از تیمارها به‌کمک معرف فولین سیوکالتیو در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت و با ترسیم منحنی استاندارد اسید گالیک ($y=0.0011x+0.0329,\ R^2=0.99$) معادل میکرو گرم اسید گالیک در هر میلی لیتر عصاره ثبت شد (Waterhouse, 2002).

همچنین پس از جداسازی و شستشوی نهایی ریشه گیاه همراه، جهت تعیین میزان فعالیت ریشه از روش احیای تری‌فنیل‌تترازولیوم کلراید (TTC)[1] استفاده شد (Zhang et al., 2013). بدین‌منظور، ۰/۵ گرم از ریشه پس از جداسازی در پنج میلی لیتر محلول بافر فسفات و پنج میلی‌لیتر محلول TTC چهار درصد به‌مدت سه ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد نگهداری شد. سپس جهت توقف واکنش دو میلی‌لیتر از اسید سولفوریک یک مولار با آن مخلوط گردید. پس از آن ریشه‌ها با کاغذ صافی خشک و به درون لوله آزمایش منتقل و ۱۰ میلی‌لیتر استیل استات به آن اضافه شد. همچنین محلول آب مقطر به عنوان بلانک در نظر گرفته شد. میزان TTC توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر اندازه‌گیری و به‌کمک ترسیم منحنی استاندارد ($y=0.0015+0.0050,\ R^2=0.94$) تعیین گردید. در نهایت، فعالیت ریشه حاصل از مقدار احیای تری‌فنیل‌تترازولیوم‌کلراید بر وزن ریشه در مدت زمان انکوباسیون تعیین شد.

جهت تعیین مقدار نیتروژن در گیاه سویا پس از انجام نمونه‌برداری تخریبی درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در شش مرحله مذکور، اندام‌های گیاه سویا به‌تفکیک در آون الکتریکی تهویه‌دار با درجه حرارت ۷۰°C به‌مدت ۴۸ ساعت خشک و پس از آن به کمک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ توزین شدند. در نهایت، آماده سازی نمونه‌ها به‌کمک آسیاب آزمایشگاهی[2] انجام و مقدار نیتروژن توسط دستگاه نیتروژن دوماس آنالایزر[3] اندازه‌گیری شد. عملکرد نیتروژن گیاه سویا بر اساس کیلوگرم در هکتار در مراحل مختلف از حاصل‌ضرب میزان کل ماده خشک در مقدار نیتروژن (گرم در گرم ماده خشک) تعیین گردید.

در نهایت، جهت تجزیه آماری داده‌ها، شامل آزمون یکنواختی واریانس‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها از نرم افزار سیستم آنالیز آماری (۹/۱) SAS استفاده شد. مقایسات میانگین داده‌ها با آزمون کم‌ترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد و رسم نمودارها به‌کمک نرم‌افزار Excel و Sigma Plot انجام شد.

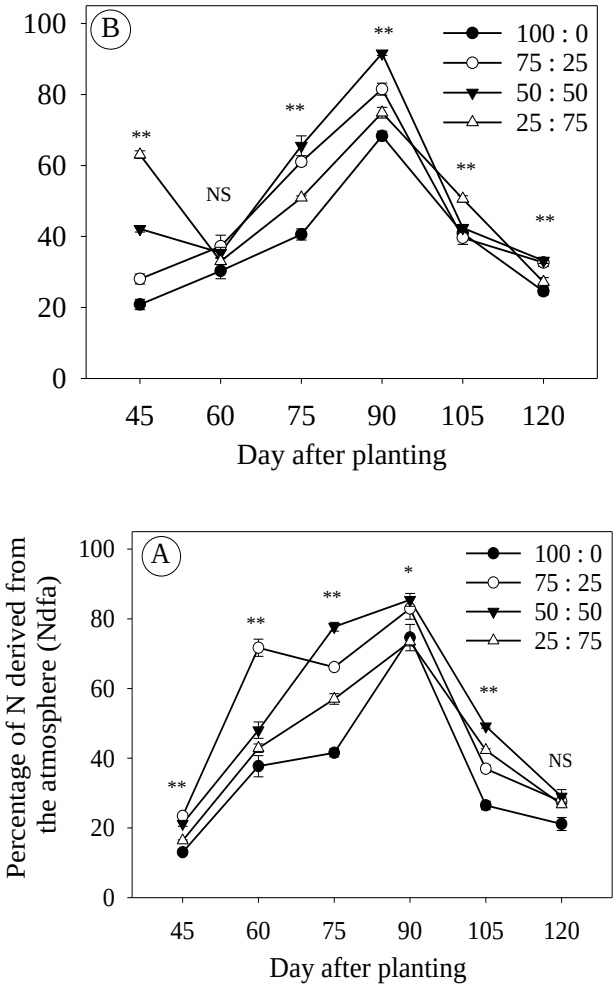
نتایج و بحث

نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی سویا در طی دوره رشد داشتند (شکل ۱). بیشترین افزایش درصد نیتروژن در هر دو سال زراعی مربوط به مرحله ۹۰ روز پس از کاشت بود. تمامی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در مقایسه با تیمار کشت خالص دارای قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن بیشتری بودند. این روند تا مرحله آغاز غلاف‌دهی (۹۰ روز پس از کاشت) ادامه داشت. در هر دو سال زراعی در مراحل ۶۰، ۷۵ و ۹۰ روز پس از کاشت بیشترین میزان درصد تثبیت بیولوژیکی مربوط به نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه–سویا) بود. در مرحله ۹۰ روز پس از کاشت این مقدار در نسبت‌های کاشت مذکور در سال‌های ۹۷ و ۹۸ به‌ترتیب ۸۵/۴۶، ۸۲/۹۴ و ۹۱/۵۸، ۸۱/۵۱ درصد بود (شکل ۱). پس از عبور از این مرحله به‌دلیل افزایش سن گره‌های تثبیت‌کننده میزان درصد تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در نسبت‌های مختلف کاشت، کاهش یافت، به نحوی که مقدار آن در سال ۱۳۹۷ در مرحله ۱۲۰ روز پس از کاشت، تغییر معنی‌داری با تیمار کشت خالص سویا نداشت. به‌طور کلی، حداکثر فعالیت تثبیت بیولوژیکی در گیاه سویا مربوط به مرحله آغاز غلاف‌دهی است و این قابلیت پس از مرحله آغاز دانه‌بندی کاهش می‌یابد (Salvagiotti et al., 2008). نکته قابل تأمل میزان درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی سویا در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه–سویا) پس از مرحله ۹۰ روز پس از کاشت بود. به نظر می‌رسد، نسبت کاشت مذکور به‌دلیل در اختیار داشتن کمترین تعداد ردیف سویا در بین نسبت‌های مختلف کاشت، توانایی بیشتری در حفظ قابلیت تثبیت بیولوژیکی در مراحل ۱۰۵ و ۱۲۰ روز پس از کاشت داشت.

کاهش قابلیت تثبیت بیولوژیکی گیاه لگوم در کشت مخلوط پس از گل‌دهی توسط برخی از محققان گزارش شده است (Jamont et al., 2013). نتایج مطالعات در این زمینه افزایش میزان تثبیت بیولوژیکی گیاهان لگوم در کشت مخلوط را به افزایش تعداد و وزن گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن نسبت دادند (Cardoso et al., 2007; Weisany et al., 2016; Maikhuri et al., 2016). در این بین، کاهش قابلیت تثبیت بیولوژیکی گیاه لگوم در کشت مخلوط پس از گل‌دهی توسط برخی از پژوهشگران گزارش شده است (Jamont et al., 2013). برخی از محققان، افزایش میزان تثبیت بیولوژیکی

1- Triphenyl tetrazolium chloride (TTC)
2- A11, IKA, rpm 28000
3- NDA 701 Dumas Nitrogen Analyzer

گیاهان لگوم در کشت مخلوط را به افـزایش تعـداد و وزن گـره‌هـای تثبیـت‌کننـده نیتـروژن نسـبت دادنـد (Cardoso et al., 2007 ; Weisany et al., 2016; Maikhuri et al., 2016). هـر چنـد در برخی دیگر از مطالعات کاهش تثبیت بیولوژیکی گیاه لگوم در کشـت مخلوط به‌دلیل افزایش ارتفاع و سایه‌اندازی گیاه همراه گـزارش شـده است (Nambiar et al., 1983).



شکل ۱- میانگین درصد نیتروژن تثبیت شده سویا در طی دوره رشد و در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با دان‌سیاه

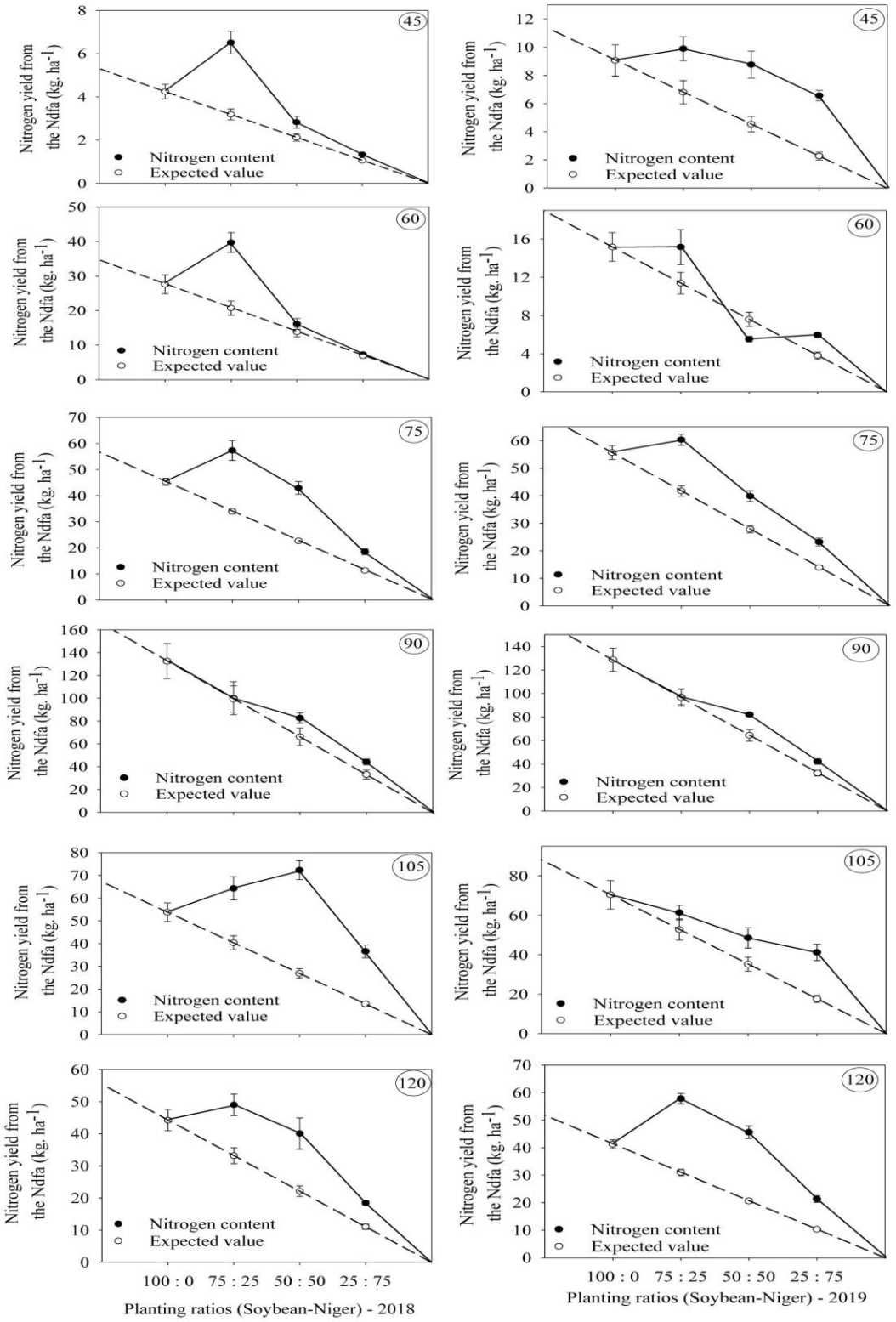
Fig. 1- The average percentage of N derived from the atmosphere (Ndfa) of soybean during the growing season and at different intercropping ratios with niger

خطوط عمودی بر روی نقاط نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE)، حروف A و B به‌ترتیب نشان‌دهنده سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

NS، *، **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

Vertical bars on the points and the letters A, B represent the standard error (SE) and studied years, 2018-2019.

NS, * and **: insignificant, Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.



شکل ۲- عملکرد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی سویا در طی دوره رشد و در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با دان‌سیاه

Fig. 2- Nitrogen yield from the Ndfa in soybean during the growing season and at different intercropping ratio with niger

خطوط عمودی بر روی نقاط نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) و اعداد داخل دایره مربوط به تعداد روز پس از کاشت می‌باشد.

Vertical bars on the points represent the standard error (SE) and the numbers inside the circle in the pictures are related to the day after planting.

در مجموع، به نظر می‌رسد گیاه سویا در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه–سویا) به‌دلیل دریافت بیشتر نور توسط تاج‌پوشش کشت مخلوط در مراحل پایانی دارای ثبات بیشتری از نظر قابلیت تثبیت بیولوژیکی است. به عبارت دیگر، روند نزولی درصد نیتروژن حاصل از فرآیند تثبیت بیولوژیکی در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ در مقایسه با سایر نسبت‌های کشت مخلوط دارای سرعت کمتری می‌باشد. به‌طور کلی، بهبود قابلیت تثبیت بیولوژیکی گیاه لگوم در کشت مخلوط توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Ruhlemann & Schmidtke, 2015; Maikhuri et al., 2016; Hu et al., 2016).

همچنین تمامی نسبت‌های مختلف کاشت (به غیر از نسبت کاشت ۵۰:۵۰ در سال ۱۳۹۸) مقدار نیتروژن بیشتری را در مقایسه مقدار قابل انتظار تولید کردند (شکل ۲). بیشترین مقدار افزایش تثبیت بیولوژیکی سویا (کیلوگرم در هکتار) مربوط به مرحله ۹۰ روز پس از کاشت بود. در این مرحله میزان درصد افزایش نیتروژن در مقایسه با مقادیر پیش‌بینی شده در نسبت‌های کاشت ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه– سویا) در سال‌های ۱۳۹۷ به‌ترتیب ۰/۷۲، ۲۴/۷۶، ۳۴/۳۵ و در سال ۱۳۹۸ به‌طور میانگین ۰/۳۶، ۲۷/۶۰، ۳۰/۷۶ درصد بود. این در حالی است که در هر دو سال زراعی با نزدیک شدن به مراحل انتهایی رشد، درصد عملکرد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در هکتار بیشترین افزایش را در مقایسه با مقادیر پیش‌بینی شده نشان داد. این افزایش در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه– سویا) به مراتب بیشتر از سایر نسبت‌های کشت مخلوط بود. امّا در نقطه مقابل، در مراحل ابتدایی رشد نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه– سویا) به‌خصوص در سال ۱۳۹۷ دارای بیشترین درصد افزایش در مقایسه با سایر نسبت‌های کاشت بود (شکل ۲). با توجه به نتایج مذکور، عملکرد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی با کاهش ردیف کاشت سویا در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه– سویا) در مقایسه با سایر نسبت‌های کشت مخلوط در مراحل ابتدایی رشد دارای یک شیب صعودی ملایم بوده که با نزدیک شدن به مراحل ۱۰۵ و ۱۲۰ روز پس از کاشت درصد عملکرد تثبیت بیولوژیکی گره‌های ریشه در مقایسه با مقادیر قابل پیش‌بینی با سرعت بیشتری نسبت به آرایش کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه– سویا) افزایش یافت. هر چند مقدار آن کمتر از نسبت کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه– سویا) در هر دو سال مورد مطالعه بود (شکل ۲). امّا به‌طور کلی، به‌نظر می‌رسد در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه– سویا) ایجاد تعادل در رقابت بین‌گونه‌ای گیاه سویا برخلاف دوره ابتدایی رشد، پس از مرحله ۹۰ روز پس از کاشت برای دستیابی به یک رابطه مکملی در کشت مخلوط اتفاق می‌افتد. این موضوع در کنار ثبات بیشتر قابلیت تثبیت بیولوژیک در مراحل ۱۰۵ و ۱۲۰ روز پس از کاشت نقش قابل توجهی در افزایش میزان عملکرد نیتروژن نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه– سویا) در مقایسه با مقدار قابل انتظار داشته است (شکل ۲). به‌طور کلی، در سیستم کشت مخلوط، مقدار نیتروژن تثبیت شده توسط ریشه گیاه لگوم به فنولوژی، مورفولوژی گونه یا رقم، تراکم گیاه لگوم و سهم آن در کشت مخلوط بستگی دارد (Stern, 1993). بیشترین عملکرد نیتروژن گیاه سویا در مرحله ۹۰ روز پس از کاشت در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ مربوط به کشت خالص (۱۰۰:۰) به‌ترتیب با میانگین ۱۳۲/۵۲ و ۱۲۸/۷۹ کیلوگرم در هکتار بود. امّا نکته قابل توجه افزایش عملکرد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در نسبت کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (دان-سیاه– سویا) پس از مرحله ۹۰ روز پس از کاشت بود. نتایج نشان داد، با گذشت زمان عملکرد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در نسبت کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه– سویا) از لحاظ آماری تفاوت معنی-داری با کشت خالص (۱۰۰:۰) نداشت. این موضوع نشان‌دهنده افزایش قابلیت، پایداری و تداوم تثبیت بیولوژیکی سویا در الگوی کشت مخلوط با گیاه دان‌سیاه می‌باشد.

همچنین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط اثر معنی‌داری بر فعالیت ریشه گیاه دان‌سیاه در کشت مخلوط داشتند (جدول ۲). نتایج نشان داد، در هر دو سال زراعی میزان فعالیت ریشه گیاه دان‌سیاه در نسبت‌های مختلف کاشت در مراحل ابتدایی رشد دارای روند صعودی است و پس از نزدیک شدن به مرحله گل‌دهی (۹۰روز پس از کاشت) مقدار آن کاهش می‌یابد. هر چند آغاز سیر نزولی فعالیت ریشه در سال ۱۳۹۷ در مقایسه با سال ۱۳۹۸ زودتر انجام شد. به‌طور کلی، نسبت‌های مختلف کشت مخلوط گیاه دان‌سیاه در مقایسه با کشت خالص (۰:۱۰۰) دارای بیشترین میزان فعالیت ریشه بودند (جدول ۲). این روند در مراحل ابتدایی رشد بیشتر مربوط به نسبت‌های کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه– سویا) و ۵۰:۵۰ بود. امّا با گذشت زمان و پس از سپری شدن مرحله گل‌دهی در گیاه دان‌سیاه فعالیت ریشه گیاه در نسبت‌های مختلف کاشت اختلاف معنی‌داری با تیمار کشت خالص (۰:۱۰۰) داشت. در این بین، نکته قابل تأمل افزایش فعالیت ریشه در

مراحل انتهایی رشد با کاهش تعداد ردیف‌های کشت گیاه دان‌سیاه به‌خصوص در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه–سویا) بود. تداوم این فعالیت در مراحل انتهایی رشد در نسبت کاشت مذکور نشان از توانایی و قدرت رقابت گیاه دان‌سیاه دارد. این قابلیت باعث ایجاد رقابت مطلوب به‌ویژه در نسبت‌های کاشت ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه– سویا) و ۵۰:۵۰ در مراحل ۱۰۵ و ۱۲۰ روز پس از کاشت شد. نتایج نشان داد، میزان افزایش فعالیت ریشه در نسبت‌های کشت مذکور در مرحله ۱۰۵ روز پس از کاشت، در سال ۱۳۹۷ به‌ترتیب ۱۱۰ و ۸۸ درصد و در سال ۱۳۹۸ به‌میزان ۶۷ و ۴۶ درصد بیشتر از کشت خالص دان‌سیاه (۰:۱۰۰) بود. کاهش فعالیت ریشه در سیستم کشت مخلوط پس از گل‌دهی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Ghosh et al., 2009; Kong et al., 2016). از آنجا که درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی عمدتاً می‌تواند تحت تأثیر اثر متقابل بخش زیرزمینی در کشت مخلوط قرار گیرد (Du et al., 2019)، بنابراین، چندان دور از ذهن نیست که فعالیت بیشتر ریشه گیاه دان‌سیاه به‌عنوان گیاه همراه در کشت مخلوط نقش تأثیرگذاری در افزایش قابلیت تثبیت بیولوژیکی گیاه سویا داشته باشد. بر اساس نتایج مطالعه پژوهشگران، افزایش فعالیت ریشه گیاه مکمل در کشت مخلوط می‌تواند از طریق افزایش جذب میزان نیتروژن قابل دسترس باعث بهبود قابلیت تثبیت بیولوژیک گیاه لگوم شود (Du Pelzer et al., 2014; et al., 2019).

نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر فعالیت کل میکروبی خاک داشتند (جدول ۳). بر اساس نتایج به‌دست آمده از فعالیت کل میکروبی خاک در مرحله ۶۰ روز پس از کاشت، نسبت کاشت ۵۰:۵۰ در عمق ۱۰–۰ سانتی‌متری دارای بیشترین و کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) و دان‌سیاه (۰:۱۰۰) دارای کمترین میزان فعالیت بودند. در عمق ۲۰–۱۰ سانتی‌متری کشت خالص دان‌سیاه (۰:۱۰۰) و سویا (۱۰۰:۰) به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار فعالیت را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). در این قسمت، در بین نسبت‌های کشت مخلوط، نسبت کاشت ۵۰:۵۰ بیشترین فعالیت میکروبی را در اختیار داشت، هر چند از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین نسبت کاشت فوق و نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه– سویا) مشاهده نشد. در نهایت، در عمق ۳۰–۲۰ سانتی‌متری نیز تمامی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط از فعالیت کل میکروبی بیشتری در مقایسه با کشت خالص هر یک از گیاهان برخوردار بودند. در این قسمت، بیشترین فعالیت میکروبی به‌ترتیب مربوط به نسبت کاشت ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ و ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه– سویا) بود. هر چند از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه– سویا) و کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) وجود نداشت (جدول ۳). کمترین میزان فعالیت کل میکروبی خاک در این قسمت مربوط به کشت خالص دان‌سیاه (۰:۱۰۰) بود. بررسی میزان فعالیت کل میکروبی خاک در مرحله رسیدگی گیاه در نسبت‌های مختلف کاشت نیز نشان داد در عمق ۱۰–۰ سانتی‌متر از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری میان نسبت‌های مختلف کاشت وجود ندارد. امّا در عمق ۲۰–۱۰ سانتی‌متر کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) دارای بیشترین میزان فعالیت میکروبی است. پس از آن نیز نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه– سویا) رتبه بعدی را در اختیار داشتند. هر چند از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری میان نسبت‌های مختلف کشت مخلوط وجود نداشت. کمترین میزان فعالیت کل میکروبی خاک در این قسمت مربوط به کشت خالص دان‌سیاه (۰:۱۰۰) بود (جدول ۳). سرانجام، در عمق ۳۰–۲۰ سانتی‌متر بیشترین فعالیت میکروبی خاک متعلق به نسبت‌های کاشت ۷۵:۲۵ و ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه–سویا) بود. کمترین مقدار فعالیت نیز در کشت خالص دان‌سیاه (۰:۱۰۰) مشاهده شد (جدول ۳).

به‌طور کلی، در عمق ۳۰–۰ سانتی‌متری خاک و در مرحله ۶۰ روز پس از کاشت میزان فعالیت کل میکروبی خاک در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص هر یک از گیاهان مورد مطالعه بود (جدول ۳) و بیشترین میزان فعالیت میکروبی در نسبت کاشت ۵۰:۵۰ مشاهده شد. میزان فعالیت کل میکروبی در نسبت کاشت مذکور به‌ترتیب ۱۶/۳۸ و ۳۱/۶۹ درصد بیشتر از کشت خالص گیاه سویا (۱۰۰:۰) و کشت خالص گیاه دان‌سیاه (۰:۱۰۰) بود. در این بین، از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری میان نسبت‌های کاشت ۲۵:۷۵ و ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه–سویا) وجود نداشت. فعالیت بیشتر ریشه گیاه دان‌سیاه به‌عنوان گیاه مکمل در نسبت‌های کشت مخلوط می‌تواند نقش مهمی در افزایش فعالیت تثبیت بیولوژیکی گیاه سویا و در نتیجه پویایی تعاملات بخش زیرزمینی در الگوی کشت مخلوط داشته باشد. همچنین نتایج فعالیت کل میکروبی در عمق ۳۰–۰ سانتی‌متری خاک در مرحله رسیدگی گیاه نیز نشان داد نسبت‌های کشت مخلوط در مقایسه با تیمار کشت خالص دان‌سیاه (۰:۱۰۰) از فعالیت میکروبی بیشتری برخوردارند (جدول ۳).

جدول ۲- مقایسه میانگین فعالیت ریشه (میکروگرم تری‌فنیل‌تترازولیوم در گرم وزن تر ریشه) دان‌سیاه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با سویا

Table 2- Mean comparison of niger root activity (TTC reduction (µg). root F.W. (g).h^{-1}) in different intercropping ratio with soybean

نسبت‌های کاشت Planting ratios (Soybean-Niger)	روز پس از کاشت سال ۱۳۹۷ Day after planting in 2018						روز پس از کاشت سال ۱۳۹۸ Day after planting in 2019					
	45	60	75	90	105	120	45	60	75	90	105	120
0 : 100	72.50	101.99	201.96	68.49	35.08	26.22	42.71	91.05	113.01	99.10	96.14	28.76
25 : 75	99.68	131.27	92.11	62.13	43.43	36.55	86.42	176.72	105.01	116.80	135.42	39.01
50 : 50	90.96	169.74	158.78	93.67	66.06	58.03	37.34	124.71	154.64	154.30	81.04	63.98
75 : 25	59.95	106.16	203.23	108.35	73.71	62.87	34.45	79.79	107.16	134.03	118.66	71.38
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.05)	6.86 **	7.70 **	12.36**	13.28 **	11.48 **	5.63 **	3.66 **	13.13 **	9.62 **	3.57 **	3.21 **	5.67**
ضریب تغییرات C.V (%)	5.31	3.78	4.71	9.98	13.16	7.67	4.55	6.95	5.01	1.77	1.86	6.98

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد فاقد تفاوت معنی‌داری بوده و اعداد پس از میانگین نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

**: significant at 1% probability level

Means in each column followed by similar latter(s) are not significantly different at 5% probability, using LSD test, and values are means±standard deviation ($\bar{X}$±SD).

جدول ۳- مقایسه میانگین مقدار فعالیت کل میکروبی خاک (میکروگرم فلوئرسین در گرم خاک) در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط دان‌سیاه-سویا

Table 3- Mean comparison of total soil microbial activity (µg. Fluorescein.g^{-1}.h^{-1}) in the different intercropping ratios of soybean-niger

نسبت‌های کاشت Planting ratios (Soybean-Niger)	۶۰ روز پس از کاشت 60 days after planting (60 D.A.P)				مرحله برداشت Harvest stage			
	عمق خاک Soil depth (cm)				عمق خاک Soil depth (cm)			
	0-10	10-20	20-30	0-30	0-10	10-20	20-30	0-30
0 : 100	8.03	11.71	7.08	26.24	12.62	10.38	9.72	32.73
25 : 75	8.72	8.79	14.47	32.01	13.02	11.89	15.96	40.88
50 : 50	9.66	9.21	15.69	34.56	11.99	12.28	10.95	35.23
75 : 25	8.22	8.38	15.07	31.68	12.73	12.34	16.53	41.60
100 : 0	8.19	7.23	14.27	29.69	12.72	14.10	13.96	40.79
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.05)	0.65 **	0.49 **	0.55 **	0.98 **	1.16 ns	0.98 **	0.75 **	2.05 **
ضریب تغییرات C.V (%)	7.43	5.32	4.06	3.08	8.97	7.45	5.43	5.19

ns: غیر معنی‌دار و * و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns: Not significant and * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

بیشترین فعالیت میکروبی در مراحل انتهایی رشد متعلق به نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه- سویا) بود که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) و کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) نداشت. نتایج برخی مطالعات نشان داد، قابلیت بیشتر انعطاف‌پذیری مورفولوژیکی در ریشه‌های گیاه لگوم می‌تواند فرصت لازم را برای اکتشاف فیزیکی خاک امکان‌پذیر نماید (Giles et al., 2017). هر چند این موضوع می‌تواند برای گیاه لگوم هزینه‌بر باشد، ولی با توجه به بهبود قابلیت تثبیت بیولوژیکی گیاه سویا در کشت مخلوط این امر چندان دور از ذهن نیست. همچنین بیشترین فعالیت کل میکروبی خاک در گیاه دان‌سیاه در مراحل میانی و انتهایی رشد بیشتر معطوف به عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک بود، در مقابل افزایش میزان فعالیت کل میکروبی گیاه سویا در عمق ۳۰-۱۰ سانتی‌متری مشاهده شد. بنابراین، به نظر می‌رسد ساختار مکملی ریشه گیاه دان-سیاه و سویا در کشت مخلوط می‌تواند از طریق تمایز آشیان اکولوژیکی حتی در بازه زمانی کوتاه‌مدت، بر قابلیت رقابت بین‌گونه‌ای در مراحل مختلف رشد و در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأثیرگذار باشد. اثر تمایز آشیان اکولوژیکی در ساختار ریشه گیاهان و نقش آن در رقابت و بهبود قابلیت تثبیت بیولوژیکی گیاه لگوم در کشت مخلوط توسط برخی از محققان گزارش شده است (Jamont et al., 2013; Tsialtas et al., 2018). به‌طور کلی، با توجه به نتایج مذکور، چنین استنباط می‌شود که افزایش تنوع، باعث بهبود فعالیت زیست‌توده میکروبی شده و این موضوع از نرخ بالاتر فعالیت آنزیمی پشتیبانی می‌کند (King, 2014). لذا، می‌توان گفت نسبت‌های مختلف کشت مخلوط به‌دلیل تنوع بیشتر و تمایل به رقابت ضمن ایجاد زیست‌توده میکروبی پویا در افزایش فعالیت میکروبی خاک نقش مهمی داشتند. از طرف دیگر، مشارکت در افزایش رقابت، سبب آزادسازی مقدار زیادی از کربن سهل‌الوصول در داخل ریزوسفر می‌شود. این موضوع ضمن افزایش فراوانی، فعالیت و رشد ریزجانداران در ریزوسفر باعث تخلیه مواد غذایی قابل دسترس باقی‌مانده از طریق جذب میکروبی و فعالیت بیشتر آنزیمی می‌شود (Kuzyakov & Xu, 2013). افزایش فعالیت میکروبی خاک در کشت مخلوط توسط برخی از محققان گزارش شده است (Azam Khan et al., 2014). در مقابل، عدم تغییر معنی‌دار فعالیت میکروبی خاک نیز در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص توسط برخی از پژوهشگران گزارش شده است، هر چند، آن‌ها علت این موضوع را به حاصلخیزی خاک زراعی نسبت دادند (Wang et al., 2015). بنابراین، اهمیت تعاملات در بخش زیرزمینی در الگوی کشت مخلوط می‌تواند در سیستم‌های کشاورزی کم‌نهاده بیشتر نمایان شود.

نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر مقدار فنول و فلاونوئید کل ریشه گیاه دان‌سیاه در طی مراحل مختلف رشد داشتند (جداول ۴ و ۵). بر اساس نتایج به‌دست آمده، مقدار فنول و فلاونوئید کل ریشه تا مرحله پایان گل‌دهی گیاه دان‌سیاه افزایش یافته و سپس، از مقدار آن کاسته می‌شود.

جدول ٤- مقایسه میانگین مقدار کل فلاونوئید ریشه دان سیاه (میکروگرم اکی‌والانت کرستین در میلی‌لیتر) در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با سویا

Table 4- Mean comparisons of the total amounts of niger root flavonoids (µg QUE equivalent/ml) in different intercropping ratio with soybean

نسبت‌های کاشت Planting ratios (Soybean-Niger)	روز پس از کاشت سال ۱۳۹۷ Day after planting in 2018						روز پس از کاشت سال ۱۳۹۸ Day after planting in 2019					
	45	60	75	90	105	120	45	60	75	90	105	120
0 : 100	10.38	38.62	18.67	26.92	80.87	21.36	43.90	80.19	19.01	38.67	60.69	17.46
25 : 75	2.92	49.74	41.18	25.38	52.32	18.48	37.41	132.07	27.97	105.22	128.01	16.23
50 : 50	16.45	38.16	26.29	22.52	38.04	55.57	39.18	83.41	41.83	74.26	56.33	14.96
75 : 25	2.97	38.78	26.29	23.53	30.23	113.26	13.23	120.86	22.74	90.17	55.39	11.78
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.05)	2.17**	7.24*	9.42**	5.13ns	3.56**	2.97**	3.17**	4.20**	2.34**	2.94**	6.81**	3.11*
ضریب تغییرات (%) C.V	16.56	10.95	4.25	13.05	4.43	3.56	5.92	2.52	11.87	5.39	5.67	12.85

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد فاقد تفاوت معنی‌داری بوده و اعداد پس از میانگین نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

**: significant at 1% probability level

Means in each column followed by similar latter(s) are not significantly different at 5% probability, using LSD test, and values are means±standard deviation ($\bar{X}$±SD).

در سال ۱۳۹۷ و در مرحله ۱۰۵ روز پس از کاشت بیشترین مقدار فلاونوئید کل ریشه مربوط به کشت خالص گیاه دان‌سیاه (۰:۱۰۰) بود. نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) نیز رتبه بعدی را در اختیار داشت. امّا در سال ۱۳۹۸ و در مرحله مذکور تمامی نسبت‌های کشت مخلوط از مقدار فلاونوئید کل بیشتری در مقایسه با شاهد برخوردار بودند. به نحوی که مقدار افزایش فلاونوئید کل ریشه در نسبت‌های کاشت ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه- سویا) به‌ترتیب ۶۴/۷۰، ۵۰/۷۲ و ۴/۰۲ درصد بیشتر از کشت خالص دان‌سیاه (۰:۱۰۰) بود (جدول ۴). این روند در خصوص مراحل ۹۰ و ۷۵ روز پس از کاشت در هر دو سال زراعی نیز صادق بود. تغییرات مقدار کل فنول ریشه نیز از این قاعده مستثنی نبود و با نزدیک شدن به مراحل انتهایی رشد مقدار آن کاهش یافت. بیشترین مقدار فنول کل ریشه در مراحل ابتدایی مربوط به نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) و ۵۰:۵۰ بود. امّا در مرحله ۱۰۵ روز پس از کاشت بیشترین مقدار فنول کل ریشه متعلق به کشت خالص دان‌سیاه (۰:۱۰۰) بود (جدول ۵). با توجه به اینکه ترکیبات فنول و فلاونوئید به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی در نظر گرفته می‌شوند (Granato et al., 2018) و با وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار ترکیبات مذکور با فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه (Benabdallah et al., 2016) به نظر می‌رسد، افزایش مقدار ترکیبات ثانویه (فنول و فلاونوئید تام) و قابلیت آنتی اکسیدانی می‌تواند به‌شدت تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط قرار گیرد. علاوه‌بر آن، نکته قابل توجه دیگر فرضیه ارتباط گیاهان از طریق بزرگراه‌های زیرزمینی است. در همین راستا، نتایج مطالعات برخی از پژوهشگران در خصوص نقش تعاملات زیرزمینی در کشت مخلوط نشان داد، فلاونوئید موجود در ترشحات ریشه گیاه مکمل، سیگنال‌های کلیدی مؤثر در ایجاد ارتباط بین گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و فلاونوئید مؤثر بر آن را در گیاه لگوم افزایش می‌دهند (Li et al., 2016). بنابراین، می‌توان احتمال تأثیر و افزایش تولید ترکیبات ثانویه به‌خصوص فلاونوئیدها توسط گیاه دان‌سیاه را بر فعالیت بیشتر گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن سویا در نظر گرفت. از آنجا که بیشترین مقدار فلاونوئید موجود در عصاره ریشه گیاه دان‌سیاه در مراحل ۹۰ و ۷۵ روز پس از کاشت منطبق با حداکثر فعالیت تثبیت بیولوژیکی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط می‌باشدّ لذا این موضوع می‌تواند احتمال تأثیر ترشحات بیشتر ترکیبات ثانویه بر قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن گیاه سویا را در کشت مخلوط تقویت کرده و یکی از مهم‌ترین دلایل ایجاد رقابت و افزایش تنوع در سیستم‌های کشت مخلوط محسوب شود. در این بین، گیاهانی که قادر به برقراری ارتباط و قدرت رقابت بالاتری هستند از ظرفیت بیشتری برای تولید مواد آنتی‌اکسیدانی برخوردار می‌باشند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد، نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با گیاه دان‌سیاه دارای قابلیت تثبیت بیولوژیکی بیشتری در مقایسه با کشت خالص گیاه سویا بودند و بیشترین میزان فعالیت بیولوژیکی مذکور در نسبت کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه- سویا) مشاهده شد. علاوه‌بر آن، نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) در مراحل ۱۲۰ و ۱۰۵ روز پس از کاشت از نظر صفت مذکور دارای ثبات بیشتری بود و تمامی نسبت‌های مختلف کاشت (به‌غیر از نسبت کاشت ۵۰:۵۰ در سال ۱۳۹۸) مقدار نیتروژن بیشتری را در مقایسه مقدار قابل انتظار تولید کردند. در این بین، عملکرد مقدار نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص با گذشت زمان کاهش یافت و در مرحله ۱۲۰ روز پس از کاشت (آغاز دانه‌بندی) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با نسبت کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه- سویا) نشان نداد. این موضوع مربوط به پایداری، تداوم و افزایش قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن گیاه سویا در کشت مخلوط می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد، گیاه دان‌سیاه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط ضمن افزایش فعالیت ریشه از میزان ترکیبات ثانویه بیشتری نیز در عصاره ریشه برخوردار است. به‌طور کلی، افزایش فعالیت ریشه در مراحل انتهایی رشد با کاهش تعداد ردیف‌های کشت گیاه دان‌سیاه به‌خصوص در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه-سویا) همراه بود و این قابلیت باعث ایجاد رقابت مطلوب به‌ویژه در نسبت‌های کاشت ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه- سویا) و ۵۰:۵۰ در مراحل ۱۰۵ و ۱۲۰ روز پس از کاشت شد. علاوه‌بر آن، مقدار فنول و فلاونوئید کل موجود در عصاره ریشه گیاه دان‌سیاه تا مرحله پایان گل‌دهی افزایش یافته و سپس از مقدار آن کاسته شد. در این بین، نسبت‌های مختلف کشت مخلوط از نظر تولید ترکیبات ثانویه موفق‌تر از کشت خالص گیاه دان‌سیاه عمل کردند. بنابراین، افزایش فعالیت ریشه و همچنین تولید بیشتر ترکیبات ثانویه به‌خصوص میزان

فلاونوئید توسط گیاه دان‌سیاه می‌تواند از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن و تحریک سیگنال‌های کلیدی مؤثر در ایجاد قابلیت تثبیت بیولوژیکی، نقش مهمی در ایجاد تعاملات و تسهیل در رقابت داشته باشد. علاوه‌بر آن، کشت مخلوط سویا با دان‌سیاه با تنظیم تقاضا برای نیتروژن در بخش زیرزمینی باعث افزایش بیشتر فعالیت کل میکروبی خاک شد. در این بین، بیشترین فعالیت کل میکروبی خاک در گیاه دان‌سیاه و سویا در مراحل میانی و انتهایی رشد به‌ترتیب مربوط به‌عمق ۲۰-۰ و ۳۰-۱۰ سانتی‌متری خاک بود. در نهایت، گیاهان در کشت مخلوط از طریق شناسایی استراتژی‌های مکمل مانند ایجاد آشیان اکولوژیکی مناسب، می‌توانند بهره‌وری را در سیستم کشت مخلوط به حداکثر برسانند.

References

1. Adam, G., & Duncan, H. (2001). Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. *Soil Biology and Biochemistry*, *33*, 943-951. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00244-3
2. Azam Khan, M., Chen, J., Li, Q., Zhang, W., Wu, L., Li, Z., & Lin, W. (2014). Effect of interspecific root interaction on soil nutrition, enzymatic activity and rhizosphere biology in maize-peanut intercropping system. *Pakistan Journal Agricultural Science*, *51*(2), 395-406.
3. Benabdallah, A., Rahmoune, C., Boumendjel, M., Aissi, O., & Messaoud, C. (2016). Total phenolic content and antioxidant activity of six wild *Mentha* species (Lamiaceae) from northeast of Algeria. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *6*(9), 760-766. https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2016.06.016
4. Callaway, R.M. (2002). The detection of neighbors by plants. *Trends in Ecology and Evolution*, *17(3)*, 104–105. https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02438-7
5. Carciochi, W.D., Schwalbert, R., Andrade, F.H., Corassa, G.M., Carter, P., Gasper, A.P., Schmidt, J., & Ciampitti, A. (2019). Soybean seed yield response to plant density by yield environmental in North America. *Agronomy Journal*, *111*(4), 1-10. https://doi.org/10.2134/agronj2018.10.0635
6. Cardoso, E.J.B.N., Noguira, M.A., & Ferraz, S.M.G. (2007). Biological N_2 fixation and mineral N in common bean-maize intercropping or sole cropping in southeastern Brazil. *Experimental Agriculture*, *43*, 319-330. https://doi.org/10.1017/S0014479707005029
7. Cataldo, D.A., Haroon, M., Schrader, L.E., & Youngs, V.L. (1975). Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *6*, 71-80. https://doi.org/10.1080/00103627509366547
8. Cesco, S., Neumann, G., Tomasi, N., Pinton, R., & Weisskopf, L. (2010). Release of plant-borne flavonoids into the rhizosphere and their role in plant nutrition. *Plant and Soil*, *329*, 1–25. https://doi.org/10.1007/s11104-009-0266-9
9. Cong, W.F., Hoffland, E., Li, L., Six, J., Haosun, J., Bao, X., Zhang, F., & Werf, W. (2014). Intercropping enhances soil carbon and nitrogen. *Global Change Biology*, *21*(4), 1715-1726. https://doi.org/10.1111/gcb.12738
10. Corre-Hellou, G., Brisson, N., Launay, M., Fustec, J., & Crozat, Y. (2007). Effect of root depth penetration on soil N sharing and dry matter in pea-barley intercrops given different soil N supplies. *Field Crops Research*, *103*, 76–85. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.04.008
11. Crews, T.E., Blesh, J., Culman, S.W., Hayes, R.C., Jensen, E.S., Mark, M.C., Peoples, M.B., & Schipanski, M.E. (2016). Going where no grains have gone before: From early to mid-succession. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, *223*, 223-238. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.012
12. Du, Q., Zhou, L., Chen, P., liu, X., Song, C., Yang, F., Wang, X., Liu, W., Sun, X., Du, J., Liu, J., Shu, K., Yang, W., & Yong, T. (2019). Relay-intercropping soybean with maize maintains soil fertility and increases nitrogen recovery efficiency by reducing nitrogen input. *The Crop Journal*, *8*(1), 140-152.

https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.06.010

13. Fehr, W.R., Caviness, C.E., Burmood, D.T., & Pennington, J.S. (1971). Stage of development descriptions for soybean, *Glycine max* L. *Crop Science*, *11*(6), 929-931. https://doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183X001100060051x
14. Ghosh, P.K., Tripathi, A.K., Bandyopadhyay, K.K., & Manna, M.C. (2009). Assessment of nutrient competition and nutrient requirement intercropping system. *European Journal of Agronomy*, *31*, 43-50. https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.03.002
15. Giles, C.D., Brown, L.K., Adu, M.O., Mezeli, M.M., Sandral, G.A., Simpson, R.J., Wendler, R., Shand, C.A., Menezes, D., Darch, T., Stutter M.I., Lumsdon D.G., Zhang H., & George, T.S. (2017). Response-based selection of barley cultivars and legume species for complementarity: Root morphology and exudation in relation to nutrient source. *Plant Science*, *255*, 12-28. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.11.002
16. Granato, D., Shahidi, F., Wrolstad, R., Kilmartin, P., Melton, L.D., Hidalgo, F.J., Miyashita, K., Camp, J., Alasalvar, C., Ismail, A.B., Elmore, S., Birch, G.G., Charalampopoulos, D., Astley, S.B., & Pegg, R. (2018). Antioxidant activity, total phenolics and flavonoids contents: Should we ban *in vitro* screening methods? *Food Chemistry*, *264*, 471-475. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.012
17. Hangria, M., & Mendes, I.C. (2015). Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis. In F.J. de Bruijn (Eds). Biological Nitrogen Fixation, Volume 2, First Edition. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. p. 1009-1023.
18. Hauggaard-Nielsen, H., Gooding, M., Ambus, P., Corre-Hellou, G., Crozat, Y., Dahlmann, C., Dibet, A., Fragstein, P., Pristeri, A., Monti, M., & Jensen, E.S. (2009). Pea–barley intercropping for efficient symbiotic N_2-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crop Research*, *113*, 64-71. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.04.009
19. Heimler, D., Vignolini, P., Dini, M.G., & Romani, A. (2005). Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* L. dry beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*, 3053–3056. https://doi.org/10.1021/jf049001r
20. Herridge, D.F. (1984). Effects of nitrate and plant development on the abundance of nitrogenous solutes in root-bleeding and vacuum extracted exudates of soybean. *Crop Science*, *25*, 173-179.
21. Hu, F., Gan, Y., Chai, Q., Feng, F., Zhao, C., Yu, A., Mu, Y., & Zhang, Y. (2016). Boosting system productivity through the improved coordination of interspecific competition in maize pea strip intercropping. *Field Crops Research*, *198*, 50-60. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.022
22. Islam, M.A. & Adjesiwor, A.T. (2018). Nitrogen fixation and transfer in agricultural production systems. In A. Khan and S. Fahad (Eds.) Nitrogen in Agriculture. INTECH. Press, London. p. 95-110.
23. Jamont, M., Guillaume, P., & Fustec, J. (2013). Sharing N resources in the early growth of rapeseed intercropped with faba bean: Does N transfer matter? *Plant and Soil*, *371*(1-3), 651-653. https://doi.org/10.1007/s11104-013-1712-2
24. Kasle, S.V., Gaikeard, S.R., Bhusari, S.A., & Kalegore, N.K. (2020). Studies on growth, yield and quality of niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) as influenced by graded levels of fertilizer and plant density. *The Pharma Innovation Journal*, *9*(11), 314-316.
25. King, A. (2014). Multifunctional agriculture: root and nitrogen dynamics in two alternative systems. Graduate PhD Dissertations, Faculty of Ecology and Evolutionary Biology, Iowa State University, United States.
26. Kong, L., Xie, Y., Hu, L., Feng, B., & Li, S. (2016). Remobilization of vegetative nitrogen to developing grain in wheat, review. *Field Crops Research*, *196*, 134-144. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.06.015
27. Kuzyakov, Y., & Xu, X. (2013). Competition between roots and microorganisms for nitrogen: Mechanisms and

ecological relevance. *New Phytologist, 198,* 656-669. https://doi.org/10.1111/nph.12235

28. Li, B., Li, Y.Y., Wu, H.M., Zhang, F.F., Li, C.J., Li, X.X., Lambers, H. & Li, L. (2016). Root exudates drive interspecific facilitation by enhancing nodulation and N_2 fixation. *PNAS, 113*(23), 1-6. https://doi.org/10.1073/pnas.1523580113
29. Liu, Y.C., Qin, X., Xiao, J., Tang, L., Wei, C.Z., Wei, J.J., & Zheng, Y. (2017). Intercropping influences component and content change of flavonoids in root exudates and nodulation of Faba bean. *Plant Interactions, 12*(1), 187-192. https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1308569
30. Machado, S. (2009). Does intercropping have a role in modern agriculture? *Soil and Water Conservation Society, 64*(2), 55-57. https://doi.org/10.2489/jswc.64.2.55A
31. Maikhuri, R.K., Dangwal, D., & Negi, V.S. (2016). Evaluation of symbiotic nitrogen fixing ability of legume crops in Central Himalaya. *India. Rhizosphere, 1,* 26-18. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2016.06.001
32. Nambiar, P.T.C., Rao, M.R., & Reddy, M.S. (1983). Effect of intercropping on nodulation and N_2-fixation by groundnut. *Excremental Agriculture, 19,* 79-86. https://doi.org/10.1017/S001447970001053X
33. Nyawade, S.O., Karanja, N.N., Gachene, C.K.K., Gitari, H.I., Geldermann, E.S., & Parker, M.L. (2019). Short-term dynamics of soil organic matter fractions and microbial activity in smallholder potato-legume intercropping systems. *Applied Soil Ecology, 142,* 123-135. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.04.015
34. Pelzer, E., Hombert, N., Jeuffroy, M.H., & Makowski, D., (2014). Meta-analysis of the effect of nitrogen fertilization on annual cereal–legume intercrop production. *Agronomy Journal, 106*(5), 1775-1786. https://doi.org/10.2134/agronj2015.0440
35. Ranganatha, A.R.G., Panday, A.K., Bisen, R., Jain, S., & Sharma, S. (2016). Niger. In: S.K. Gupta (Ed), Breeding Oilseed Crops for Sustainable Production, opportunities and constraints. Academic Press, Cambridge, Massachusetts. p. 169-199.
36. Ruhlemann, L., & Schmidtke, K. (2015). Evaluation of monocropped and intercropped grain legumes for cover cropping in no-tillage and reduced tillage organic agriculture. *European Journal of Agronomy, 65,* 83-94. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.01.006
37. Salvagiotti, F., Cassman, K.G., Specht, J.E., Walters, D.T., Weiss, A., & Dobermann, A. (2008). Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crop Research, 108,* 1-13. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.03.001
38. Stern, W.R. (1993). Nitrogen fixation and transfer in intercrop systems. *Field Crops Research, 34,* 335-356. https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90121-3
39. Stomph, T., Dordas, C., Baranger, A., de Rijk, J., Dong, B., Evers, J., Gu, C., Li, L., Simon, J., Jensen, E.S., Wang, Q., Wang, Y., Wang, Z., Xu, H., Zhang, C., Zhang, L., Zhang, W., Bedoussac, L., & Werf, W.V. (2020). Designing intercrops for high yield, yield stability and efficient use of resources: Are there principles? Advances in Agronomy. In D.L. Sparks (Eds), Advances in Agronomy. Academic Press, London. p. 1-50.
40. Tsialtas, I.T., Baxevanos, D., Vlachostergios, D.N., Dordas, C., & Lithourgidis, A. (2018). Cultivar complementarity for symbiotic nitrogen fixation and water use efficiency in pea-oat intercrops and its effect on forage yield and quality. *Field Crop Research, 226,* 28-37. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.07.005
41. Unkovich, M., Herridge, D.F., Peoples, M., Cadisch, G., Boddey, B., Giller, K., Alves, B., & Chalk, P. (2008). Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems. Australian Center for International Agricultural Research (ACIAR). p. 136-258.
42. Wang, Z., Bao, X., Li., X., Jin, X., Zhao, J., Sun, J., Christie, P., & Li, L. (2015). Intercropping maintains soil fertility in terms of chemical properties and enzyme activities on a timescale of one decade. *Plant and Soil, 391*(1-2), 265-282. https://doi.org/10.1007/s11104-015-2428-2

43. Waterhouse, A.L. (2002). Determination of total phenolic. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry, I1*, 1-8.

44. Weisany, W., Salmasi, S., Raei, Y., & Shorabi, Y. (2016). Can arbuscular mycorrhizal fungi improve competitive ability of dill + common bean intercrops against weeds? *European Journal of Agronomy, 75*, 60-71. https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.01.006

45. Xu, B.J., & Chang, S.K.C. (2007). A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *Journal of Food Science*, *72*(2), 159-166. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00260.x

46. Yingchao, L., Yin, X., Xiao, J., Tang, L., & Zheng, Y. (2019). Interactive influences of intercropping by nitrogen on flavonoid exudation and nodulation in faba bean. *Scientific Reports*, *9*, 4818-4829. https://doi.org/10.1038/s41598-019-41146-9

47. Young, E.G., & Conway, C.F. (1942). On the estimation of allantoin by the Rimini-Schryver reaction. *Journal of Biological Chemistry*, *142*, 839–853. https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)45082-X

48. Zhang X, Huang, G., Bian, X., & Zhao, Q. (2013). Effects of root interaction and nitrogen fertilization on the chlorophyll content, root activity, photosynthetic characteristics of intercropped soybean and microbial quantity in the rhizosphere. *Plant Soil and Environment*, *59*(2), 80-88. https://doi.org/10.17221/613/2012-PSE

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

Research Article
Vol. 15, No. 3, Fall 2023, p. 467-480

Effect of Aeration Time and Ratio on Some Chemical Properties of Aerobic Tea of Cow Manure and Vermicompost

Niloofar Montazami[1], Akram Halajnia[2*], Reza Khorasani[3] and Amir Fotovat[4]

Received: 08-09-2021
Revised: 20-12-2021
Accepted: 28-12-2021
Available Online: 28-12-2021

How to cite this article:
Montazami, N., Halajnia, A., Khorasani, R., & Fotovat, A. (2023). Effect of aeration time and ratio on some chemical properties of aerobic tea of cow manure and vermicompost. *Journal of Agroecology, 15(3)*, 467-480.
DOI: 10.22067/agry.2021.72319.1065

Introduction

Organic fertilizer tea is a treated solution of organic fertilizers that contains various organic compounds, nutrients, and a wide range of microorganisms and their metabolites. In recent years, the production and use of organic tea as a liquid biological fertilizer or biological pesticide is expanding towards sustainable agriculture. There are many benefits to using tea compost, including providing nutrients for the plants that can reduce chemical fertilizers. A variety of organic compounds can be used to make tea. In the preparation of aerobic organic tea, except for the type of organic matter, preparation conditions such as particle size, temperature, aeration time and fertilizer-to-water ratio can affect the chemical and biological properties of the produced tea (Shaban et al., 2015). In this regard, the present study was conducted to investigate the effect of aeration time and fertilizer-to-water ratio on some chemical properties of cow manure and vermicompost tea.

Materials and methods

An experiment was conducted using a completely randomized design with a factorial arrangement and three replications. The treatments included aeration time (0, 24, 48, and 72 hours), fertilizer-to-water ratio (1:10, 1:25 and 1:50), and type of organic fertilizer (vermicompost and cow manure). The part passed through a 2 mm sieve, and the rest on a 0.5 mm sieve of air-dried cow manure and vermicompost were used to determine some chemical properties of organic fertilizers and make tea. After preparing the ratios with distilled water, an air pump was used for aeration. Changes in acidity (pH), electrical conductivity, dissolved organic carbon, mineral forms of nitrogen, dissolved phosphorus, and potassium in organic fertilizers tea (cow manure and vermicompost) were evaluated.

Results and discussion

The characteristics of the studied organic fertilizers showed that the total amount of nitrogen, phosphorus, and potassium in vermicompost was higher than cow manure. According to the analysis of variance, among the main effects, the effect of organic matter type on soluble organic carbon, nitrate, and the effect of ratio on nitrate were not significant. The interaction of organic matter type and time on electrical conductivity and the interaction effect of organic matter type and ratio on dissolved organic carbon was insignificant. The effect of two-factor interactions on

1- M.Sc. Student, Assistant Professor, Associate Professor and Professor, Department of Soil Science, Agricultural collage, Ferdowsi University of Mashhad, respectively.
(*- Corresponding author's Email: halajnia@um.ac.ir)

nitrate was not significant. Among the three-factor interactions, the effect of organic matter type, time, and ratio on electrical conductivity, acidity (pH), organic carbon, and nitrate was insignificant. The results showed that aeration decreased the pH and increased the electrical conductivity in cow manure and vermicompost tea. Despite the higher total amount of nitrogen, phosphorus, and potassium in vermicompost, cow manure tea contained higher amounts of soluble ammonium, phosphorus, and potassium compared to vermicompost tea. The chemical structure of organic matter and the distribution of elements in different organic and inorganic fractions can effectively dissolve the mineral part and the biological decomposition of the organic part. Changes in the ratio and aeration time had no significant effect on the amount of ammonium and soluble phosphorus in vermicompost tea. In cow manure tea, the highest percentage of increase in soluble phosphorus and potassium was obtained by increasing the aeration time up to 72 hours compared to the zero time (without aeration) in a ratio of 1:50. In general, organic carbon decreased as a result of aeration, and only at a ratio of 1:10, this reduction was not significant at 48 and 72 hours. The only factor affecting the amount of nitrate was the aeration time, and compared to zero time, the amount of nitrate decreased at 24 and 48 hours and increased at 72 hours.

Conclusion

The results showed that the effect of aeration time and fertilizer-to-water ratio on nutrient concentrations in teas made from cow manure and vermicompost was different. Despite the higher total concentration of nutrients in vermicompost, the vermicompost tea contained lower amounts of nutrients than cow manure tea. In other words, the total amount of nutrients in organic fertilizer cannot determine their amount in the produced tea.

Keywords: Organic fertilizer tea, Aerobic extraction, Liquid organic fertilizer

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۴۸۰-۴۶۷

تأثیر زمان هوادهی و نسبت بر برخی ویژگی‌های شیمیایی چای هوازی کودهای گاوی و ورمی‌کمپوست

نیلوفر منتظمی[۱]، اکرم حلاج‌نیا[۲*]، رضا خراسانی[۳] و امیر فتوت[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷

چکیده

استفاده از چای ترکیبات آلی در سال‌های اخیر به‌عنوان کود زیستی مایع یا آفت‌کش زیستی در راستای کشاورزی پایدار در حال گسترش است. علاوبر اثر نوع ماده آلی، شرایط تهیه چای بر ویژگی‌های شیمیایی و زیستی آن مؤثر است. مطالعه حاضر با آرایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار به‌منظور اثر زمان هوادهی و نسبت کود به آب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی چای کودهای گاوی و ورمی‌کمپوست انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل زمان هوادهی (زمان‌های صفر، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت)، نسبت کود به آب (۱:۱۰، ۱:۲۵ و۱:۵۰) و نوع کود آلی (ورمی‌کمپوست و گاوی) بود. نتایج نشان داد که هوادهی موجب کاهش اسیدیته و افزایش هدایت الکتریکی در چای کود گاوی و ورمی‌کمپوست شد. باوجود مقدار کل بیشتر عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ورمی‌کمپوست، چای کود گاوی حاوی مقادیر بالاتری از آمونیوم، فسفر و پتاسیم محلول نسبت به چای ورمی‌کمپوست بود. تغییر نسبت و زمان هوادهی اثر قابل توجهی بر مقدار آمونیوم و فسفر محلول در چای ورمی‌کمپوست نداشت. در چای کود گاوی بیشترین درصد افزایش فسفر و پتاسیم محلول تحت تأثیر افزایش زمان هوادهی تا ۷۲ ساعت نسبت به زمان صفر (بدون هوادهی) در نسبت ۱:۵۰ به‌دست آمد. کربن آلی در نتیجه هوادهی کاهش یافت و تنها در نسبت ۱:۱۰ این کاهش در زمان‌های ۴۸ و ۷۲ ساعت معنی‌دار نبود. تنها فاکتور مؤثر بر مقدار نیترات، زمان هوادهی بود و مقدار نیترات نسبت به زمان صفر در زمان‌های ۲۴ و ۴۸ ساعت کاهش و در زمان ۷۲ ساعت افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: استخراج هوازی، چای کود آلی، کود آلی مایع

مقدمه

وجود خاک‌های آهکی در بیشتر مناطق کشور ایران ناشی از آب و هوای خشک و نیمه‌خشک و عدم شست‌وشوی کربنات‌ها می‌باشد (FAO, 1972). کمی مواد آلی و اسیدیته (pH) بالا در خاک‌های آهکی منجر به دسترسی محدود گیاه به عناصر غذایی مختلف مانند فسفر، آهن، روی و منگنز می‌شود (Islam et al., 2009). استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی مانند نیتروژن و فسفر در جهت افزایش تولید محصولات کشاورزی و عدم کاربرد عناصر کم‌مصرف، همچنین وجود خاک‌های آهکی با ماده آلی پایین از جمله عوامل تشدیدکننده کمبود عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم مصرف در این خاک‌ها می‌باشد. در طولانی‌مدت مصرف کودهای شیمیایی صرف نظر از تخلیه مواد آلی به‌تدریج می‌تواند منجر به تخریب خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و همچنین آلودگی‌های زیست محیطی گردد. کاربرد کودهای آلی می‌تواند با افزایش عناصر غذایی و

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار، دانشیار و استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: halajnia@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2021.72319.1065

مواد آلی خاک، افزایش تعداد و فعالیت موجودات خاک، افزایش تنوع زیستی و بهبود ساختمان خاک بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک مؤثر باشد (Albiach et al., 2000). امروزه مصرف چای مواد آلی مانند چای کمپوست راه دیگری است که کشاورزان و تولیدکنندگان محصولات کشاورزی برای به‌کارگیری کودهای آلی انجام می‌دهند. واژه عمومی چای کمپوست را می‌توان عصاره حاصل از اضافه کردن آب به انواع مختلف کودهای آلی در طی زمان مشخص تعریف کرد که پس از فیلتر شدن به‌صورت کاربرد خاکی یا محلول‌پاشی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Barker & Bryson, 2006). به‌وسیله ورمی‌کمپوست می‌توان کودهای محلول ورمی‌واش و چای ورمی‌کمپوست را تهیه کرد که به‌عنوان جایگزین و یا به‌صورت مکمل همراه با کودهایی شیمیایی در کشاورزی ارگانیک کاربرد دارد و اثرات منحصربه‌فردی در فراهمی عناصر غذایی ایجاد می‌کنند (Fathima & Sekar, 2014). عصاره ورمی‌کمپوست ویژگی‌های میکروبی و شیمیایی سودمندتری نسبت به ورمی‌کمپوست جامد دارا می‌باشد. عصاره ورمی‌کمپوست از طرق مختلفی تولید می‌شود و حاوی فاکتورهایی از قبیل مواد مغذی، اسیدهای هومیک و فولویک، ریزجانداران مفید، هورمون‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی می‌باشد که در مدت زمان فرایند عصاره‌گیری از ورمی‌کمپوست خارج شده است. احتمالاً این مواد از عوامل مهمی برای رشد و جوانه‌زنی بهتر گیاهان به شمار می‌روند (Gopal et al., 2010). فن‌آوری چای کمپوست از سال ۱۹۸۰ در آمریکا مورد بررسی قرار گرفت. عصاره خانگی چای کمپوست به‌نام «چای کمپوست بدون هوادهی یا غیر فعال» به‌منظور استخراج میکروب‌های بی‌هوازی و مواد مغذی از طریق به تعلیق درآوردن چند روزه کیسه محتوی کمپوست در ظرف آبی به‌دست می‌آید، که کاربرد آن موجب بهبود سلامتی و شادابی در گیاهان می‌گردد (Naidu et al., 2010; Ingham, 2005; Scheuerell & Mahaffee, 2002). تولید چای کمپوست هوادهی شده اخیراً در مقیاس‌های بزرگ انجام می‌پذیرد. این نوع چای کمپوست در مدت زمان کمتری تولید می‌شود و با ورود اکسیژن، عناصر غذایی و شروع‌کننده‌های میکروبی شامل میکروب‌ها و عناصر غذایی هوازی، فعالیت زیستی در چای کمپوست را افزایش می‌دهد (Naidu et al., 2010; Scheuerell & Ingham, 2005; Mahaffee, 2004) چای کمپوست به دو روش خاکی یا به‌صورت برگ‌پاشی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در مورد فواید کاربرد خاکی می‌توان به مواردی از قبیل کمک به توسعه سد زیستی در اطراف ریشه، فراهم کردن مواد مغذی، افزایش فعالیت‌های زیستی خاک، تأثیر بر ساختار فیزیکی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب، افزایش توسعه عمق ریشه، تأثیر بر چرخه مواد مغذی و از بین بردن عوامل بیماری‌زا اشاره کرد (Ingham, 2005). افزایش کاربرد چای کمپوست به‌صورت خاکی یا محلول‌پاشی در مقابله با عوامل بیماری‌زا، بسیاری از محققان را ترغیب کرده است تا عملکرد آن را بدون استانداردسازی کیفیت آن ارزیابی کنند، بنابراین نتایج متناقض و بحث برانگیزی به‌دست می‌آورند. اثرات کودی و آفت‌کشی چای کمپوست به‌دلیل خصوصیات شیمیایی، میکروبی و زیستی آن است که به‌شدت تحت تأثیر نوع ماده آلی مورد استفاده و شرایط تهیه آن قرار دارد (Islam et al., 2016). علاوبر نوع ترکیب آلی مورد استفاده در تهیه چای سایر عوامل از قبیل دما، نسبت ماده آلی به آب و زمان هوادهی بر خصوصیات چای حاصل مؤثر است (Shaban et al., 2015). با توجه به مطالب ذکر شده، این مطالعه با هدف مطالعه تأثیر زمان هوادهی و نسبت مورد استفاده در تهیه چای دو نوع ماده آلی کود گاوی و ورمی‌کمپوست حاصل از آن بر برخی ویژگی‌های شیمیایی چای حاصل می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تهیه، آماده‌سازی و اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی: ابتدا سه کیلوگرم کود گاوی و پنج کیلوگرم ورمی‌کمپوست حاصل از آن از شرکت دانش سبز واقع در دانشگاه فردوسی تهیه شد. جهت انجام آنالیزهای اولیه کودهای آلی هوا خشک و از الک ۲ و ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شد. بخش عبور کرده از الک ۲ و باقی‌مانده بر روی الک ۰/۵ مورد استفاده قرار گرفت. اسیدیته (pH) کودهای آلی (کود گاوی و ورمی‌کمپوست) با استفاده از دستگاه پی‌اچ متر (مدل METROHM632) در نسبت ۱:۵ کود به آب تعیین گردید و بعد از عبور از کاغذ صافی قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (مدل JENWAY-430) اندازه‌گیری شد. مقدار نیتروژن کل به‌روش کجلدال (Bremner & Mulvaney, 1982) در کودهای آلی مورد مطالعه تعیین شد. در این روش، ابتدا نمونه‌های کودی همراه با اسید سولفوریک غلیظ و کاتالیزور حرارت داده شدند و سپس مقدار آمونیوم تولید شده در دستگاه تقطیر کجلدال تعیین گردید. جهت تعیین مقدار کل فسفر و

پتاسیم، نمونه‌های کودی در ابتدا در کوره دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر شدند و سپس خاکستر حاصل در اسید کلریدریک دو نرمال حل و مقدار فسفر در عصاره حاصل به‌روش رنگ‌سنجی (Murphy & Riley, 1962) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل WPA2000) و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل JENWAY-PFP7) اندازه‌گیری شد.

اعمال تیمارهای آزمایش: به‌منظور مطالعه اثر زمان هوادهی و نسبت کود به آب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی چای کودهای آلی، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل و سه تکرار در شرایط آزمایشگاهی در آزمایشگاه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۹ انجام پذیرفت. برای تهیه چای کود آلی، عصاره‌گیری در نسبت‌های مختلف ۱:۱۰، ۱:۲۵ و ۱:۵۰ با اضافه کردن ۲۰۰ سی‌سی آب دوبار تقطیر به‌ترتیب به مقادیر ۲۰، ۸ و ۴ گرم از هر نوع کود درون ظروف پلاستیکی و در زمان‌های صفر، ۲۴ ، ۴۸ و ۷۲ ساعت هوادهی با استفاده از دستگاه پمپ هوا در دمای بین ۲۸-۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد. پس از آن عصاره‌های حاصل با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ فیلتر شدند و اسیدیته (pH)، قابلیت هدایت الکتریکی، فسفر به‌روش رنگ‌سنجی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Murphy & Riley, 1962)، پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (Jenway PFP7)، کربن آلی محلول به‌روش اکسایش با دی کرومات پتاسیم در مجاورت اسید سولفوریک غلیظ (Walkley & Black, 1934)، نیترات و آمونیوم با استفاده از اکسید منیزیم و آلیاژدواردا در سیستم تقطیر کجلدال در تیمارهای مورد آزمایش اندازه‌گیری شد. در پایان تجزیه آماری داده‌ها با نرم افزار JMP و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال خطای پنج درصد و رسم نمودارها در محیط Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده در تهیه چای کود آلی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مورد مطالعه

Table 1- Some chemical properties of studied organic fertilizers

ویژگی Property	ورمی‌کمپوست Vermicompost (v)	کود گاوی Cow manure (m)
نیتروژن کل Total N ($g.kg^{-1}$)	16.37	6.3
فسفر کل Total P ($g.kg^{-1}$)	14.56	7.75
پتاسیم کل Total K ($g.kg^{-1}$)	9.8	8.61
درصد خاکستر Ash (%)	57.13	38.46
هدایت الکتریکی(1:5) EC ($dS.m^{-1}$) (1:5)	4.73	6.68
اسیدیته (1:5) pH (1:5)	8.59	8.91

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر برخی خصوصیات شیمیایی چای مواد آلی در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس جدول ۲ در بین اثرات ساده تأثیر نوع ماده آلی بر کربن آلی محلول، نیترات و تأثیر نسبت کود به آب بر نیترات معنی‌دار نبود. در بین اثرات دوگانه اثر متقابل نوع ماده آلی و زمان بر هدایت الکتریکی، نوع ماده آلی و نسبت بر کربن آلی محلول معنی‌دار نبود. تأثیر هیچ یک از اثرات دوگانه بر نیترات معنی‌دار نبود. در بین اثرات متقابل سه گانه تأثیر نوع ماده آلی، زمان و نسبت مورد استفاده بر هدایت الکتریکی، اسیدیته (pH)، کربن آلی و نیترات معنی‌دار نبود.

نتایج مقایسه میانگین مقادیر اسیدیته (pH) تحت تأثیر تیمارهای آزمایش (کود آلی، زمان هوادهی و نسبت کود به آب) در شکل ۱، ۲ و ۳ آورده شده است. مطابق شکل ۱ نتایج نشان می‌دهد که اسیدیته (pH) تحت تأثیر هوادهی در همه نسبت‌ها کاهش معنی‌دار پیدا کرد. هرچند افزایش زمان هوادهی از ۲۴ تا ۷۲ ساعت تأثیر قابل توجهی

بر مقدار اسیدیته (pH) نداشت. بیشترین اسیدیته (pH) در زمان صفر در نسبت ۱:۲۵ و کمترین اسیدیته (pH) در نتیجه ۷۲ ساعت هوادهی در نسبت ۱:۵۰ به‌دست آمد. در پژوهش گرلیکزی و همکاران (Gorliczay et al., 2018) اثر زمان هوادهی و نسبت بر خصوصیات چای کمپوست بررسی شد. نتایج آن‌ها نشان داد که در نسبت ۱:۵۰، مقدار اسیدیته (pH) در زمان‌های ۲۴ و ۴۸ ساعت را در مقایسه با نسبت ۱:۱۰ کاهش یافت، در حالی‌که در زمان ۷۲ ساعت، این تغییر اسیدیته (pH) به‌صورت افزایشی مشاهده شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نوع کود آلی، نسبت و زمان هوادهی بر برخی پارامترهای شیمیایی چای تولید شده

Table 2– Analysis of variance (mean of squares) of the effect of organic fertilizer type, ratio, and aeration time on some chemical parameters of the produced tea

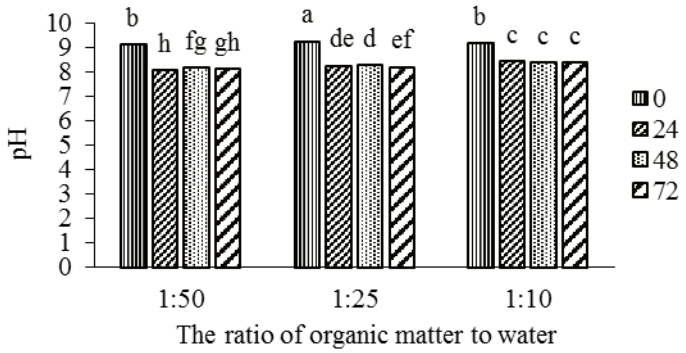
منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	نیتروژن- نیتراتی $N\text{-}NO_3^-$	نیتروژن- آمونیومی $N\text{-}NH_4^+$	کربن آلی OC	فسفر P	پتاسیم K	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH
ماده آلی Organic matter (a)	1	131.04^{ns}	40100.4*	18696.9^{ns}	20229.6*	320494.3*	4.888*	0.040*
زمان هوادهی Aeration time (b)	3	4243.16*	56866.94*	1196259.9*	26265.2*	604127.7*	12.959*	11.512*
نسبت ماده آلی به آب Organic matter to water ratio (c)	2	672.36^{ns}	26023.3*	718168.1*	12140.8*	3192123.2*	82.221*	0.662*
a×b	3	192.99^{ns}	30764.4*	73730.2*	14619.3*	32027.9*	0.077^{ns}	0.388*
b×c	6	1423.62^{ns}	24507.8*	591624.1*	2775.3*	146146.8*	2.241*	0.223*
a×c	2	333.99^{ns}	8852.4*	27760.9^{ns}	5408.4*	122130*	1.289*	0.048*
a×b×c	6	156.14^{ns}	10834.1*	30438.5^{ns}	1878.1*	106850*	0.152^{ns}	0.0148^{ns}

*: معنی‌داری در سطح پنج درصد و ns: عدم معنی‌داری

*: Significant at the 5% levels and ns: non-Significant

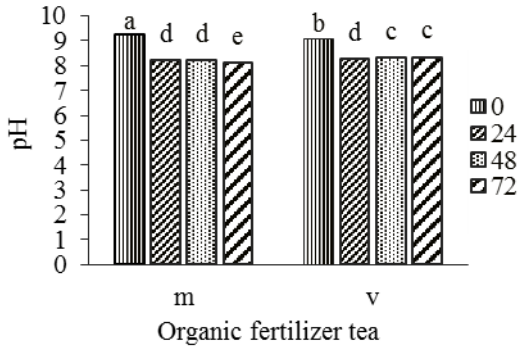
شکل ۲ اثر متقابل نوع کود آلی و زمان هوادهی را بر اسیدیته (pH) چای حاصل نشان می‌دهد. بر این اساس در هر دو نوع کود آلی هوادهی موجب کاهش اسیدیته (pH) نسبت به زمان صفر شد. در زمان صفر اسیدیته (pH) چای کود گاوی بیشتر از چای ورمی‌کمپوست بود که با توجه به اسیدیته (pH) اولیه اندازه‌گیری شده دو ماده آلی مورد مطالعه مطابق جدول ۱، این نتیجه دور از انتظار نبود. افزایش زمان هوادهی موجب کاهش اسیدیته (pH) در هر دو چای ماده آلی شد که در زمان ۲۴ ساعت تفاوت بین اسیدیته (pH) دو نوع چای معنی‌دار نبود. روند کاهشی اسیدیته (pH) در مورد چای کود گاوی دیده شد، ولی در مورد چای ورمی‌کمپوست بعد از ۲۴ ساعت تا ۷۲ ساعت اندکی افزایش در مقدار اسیدیته (pH) رخ داد. کمترین اسیدیته (pH) در تیمار چای کود گاوی در زمان ۷۲ ساعت هوادهی به‌دست آمد. به نظر می‌رسد با افزایش مدت زمان هوادهی، با افزایش تولید اسید آلی مانند اگزالات، سیترات و مالات به‌دلیل تجزیه میکروبی اسیدیته (pH) کاهش می‌یابد (Yan et al., 1996). در پژوهش مارتین و همکاران (Martin et al., 2012) تأثیر نوع ماده آلی، هوادهی و زمان فرآوری بر خصوصیات چای کمپوست مطالعه شد. نتایج آن‌ها نشان داد در چای کمپوست چمن با افزایش زمان هوادهی مقدار اسیدیته (pH) کاهشی بوده، امّا در چای کمپوست برگ موز تغییرات اسیدیته (pH) ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. کیم و همکاران (Kim et al., 2015) گزارش کردند که پس از یک روز هوادهی، میزان اسیدیته (pH) در همه چای کودهای مورد مطالعه (کمپوست کاه برنج، کمپوست گیاهان دارویی، ورمی‌کمپوست و ترکیب کمپوست‌ها) در طی دوره انکوباسیون به‌مقدار کمی (۹/۹-۲/۲ درصد) افزایش یافت. به‌طوری‌که چای ورمی‌کمپوست و چای کمپوست گیاهان دارویی دارای بیشترین و کمترین میزان اسیدیته (pH) به‌ترتیب به‌مقدار ۸/۵۴ و ۷/۹۰ بعد از پنج روز هوادهی بودند. کان و همکاران (Koné et al., 2010) نیز اظهار داشتند که اسیدیته (pH) چای کمپوست از ۵/۹۲ (کود گوسفندی) تا ۶/۵۷ (کود مرغ) متغیر بود. به عبارت دیگر، نوع ماده آلی مورد استفاده در تهیه چای کمپوست، نسبت مورد استفاده و زمان هوادهی می‌تواند بر ویژگی‌های چای کمپوست حاصل مؤثر باشد. مطابق شکل ۳ با افزایش نسبت آب به ماده آلی مورد استفاده در هر دو نوع ماده آلی اسیدیته (pH) کاهش یافت. در نسبت ۱:۵۰ تفاوت معنی‌داری بین دو نوع چای کود آلی

مشاهده نشد. نتایج اسلام و همکاران (Islam et al., 2016) نشان دادند که اسیدیته (pH) چای کمپوست (بقایای زیتون، کود گاوی و کاه گندم) به‌طور قابل توجهی تنها تحت تأثیر مدت زمان فرآوری و تا حدودی تحت تأثیر درجه حرارت قرار گرفت. این در حالی بود که اثر نسبت ماده آلی به آب و زمان هوادهی بر مقدار اسیدیته (pH) معنی‌دار نبود. نتایج متفاوت به‌دست آمده در تحقیقات مختلف می‌تواند ناشی از تفاوت در نوع ماده آلی و شرایط تهیه چای از قبیل مدت و مقدار هوادهی، نسبت و دما باشد.



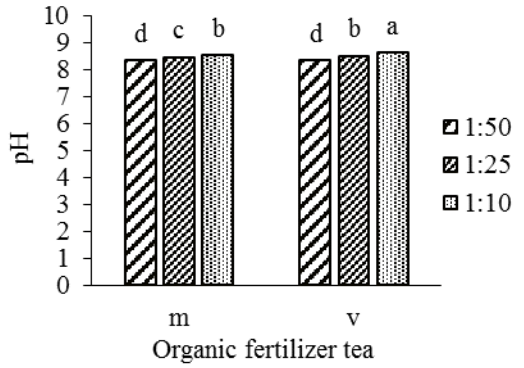
شکل ۱- اثر نسبت (ماده آلی به آب) و زمان هوادهی (ساعت) بر اسیدیته (pH) چای کود آلی

Fig. 1- The effect of ratio (organic matter to water) and aeration time (hours) on the pH of organic fertilizer tea



شکل ۲- اثر تأثیر نوع ماده آلی (چای کود گاوی (m) و چای ورمی‌کمپوست (v)) و زمان (ساعت) بر اسیدیته (pH) چای تولید شده

Fig. 2- The effect of organic matter type (cow manure tea (m) and vermicompost tea (v)) and time (hours) on the pH of the produced tea

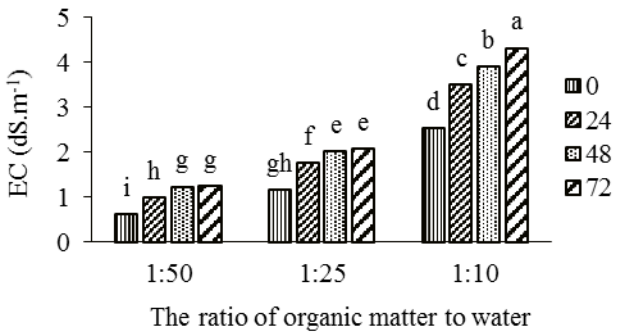


شکل ۳- اثر نوع ماده آلی (چای کود گاوی (m) و چای ورمی‌کمپوست (v)) و نسبت (ماده آلی به آب) براسیدیته (pH) چای تولید شده

Fig. 3- The effect of organic matter type (cow manure tea (m) and vermicompost tea (v)) and ratio (organic matter to water) on the pH of the produced tea

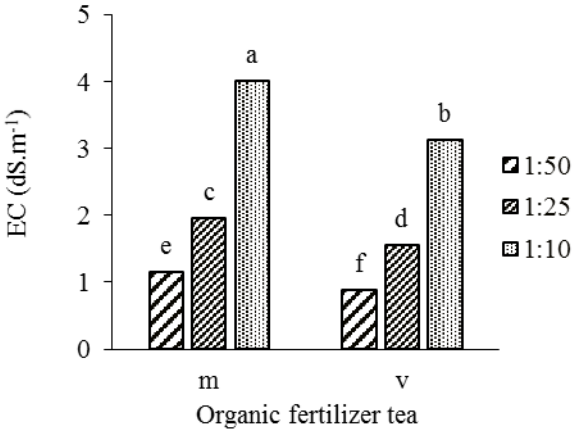
صرف نظر از نوع ماده آلی اثر متقابل زمان و نسبت بر هدایت الکتریکی چای کمپوست در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که انتظار می‌رفت، افزایش نسبت آب به مقدار ماده آلی در تهیه چای با رقیق شدن نمک‌های محلول موجب کاهش هدایت الکتریکی شد. بر این اساس نسبت ۱:۵۰ دارای کمترین مقدار هدایت الکتریکی در همه زمان‌های هوادهی بود. افزایش زمان هوادهی با تأثیر بر افزایش انحلال نمک‌های معدنی و تجزیه مواد آلی در نتیجه افزایش فعالیت ریزجانداران موجب افزایش هدایت الکتریکی در هر سه نسبت مورد مطالعه شد. در پژوهش گرلیکزی و همکاران (Gorliczay et al., 2018) نشان داده شد که هدایت الکتریکی محلول استخراج شده بعد از ۲۴ ساعت انکوباسیون به‌جز در نسبت ۱:۱۰، همواره کمتر از زمان انکوباسیون ۷۲ ساعت بود. در پژوهشی دیگر، کیم و همکاران (Kim et al., 2015) نشان دادند که مقادیر هدایت الکتریکی در همه چای های کمپوست هوادهی (کمپوست گیاهان دارویی، ورمی‌کمپوست و ترکیب کمپوست‌ها) به‌جز چای کمپوست کاه برنج پس از انکوباسیون یک روزه به‌طور قابل توجهی (۴۹/۲-۱۸/۳ درصد) افزایش یافت. به‌طوری‌که بالاترین سطح هدایت الکتریکی در مخلوط کمپوست گیاهان دارویی و ورمی‌کمپوست به‌مدت پنج روز پس از انکوباسیون به‌دست آمد. در شکل ۵ نیز تأثیر افزایش نسبت آب به مقدار ماده آلی بر هدایت الکتریکی نشان داده شده است. به‌جز این که در همه نسبت ها هدایت الکتریکی چای کود گاوی بیشتر از چای ورمی‌کمپوست بود که با خصوصیات ارائه شده دو ماده آلی در جدول ۱ مطابق است. مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۱ هدایت الکتریکی کود گاوی بیشتر از ورمی‌کمپوست بود که نشان‌دهنده حضور نمک‌های معدنی بیشتر در آن می‌باشد. کان و همکاران (Koné et al., 2010) نیز مقادیر هدایت الکتریکی را در چای کودهای مرغی، گوسفندی، گاوی و جلبک دریایی بررسی و بیان کردند که بالاترین میزان هدایت الکتریکی در چای کود مرغ و به دنبال آن چای کمپوست جلبک دریایی مشاهده شد. همچنین هاگگ و صابر (Haggag & Saber, 2007) توصیف کردند که مقدار هدایت الکتریکی و اسیدیته (pH) در چای کمپوست باقی‌مانده‌های گیاهی (خاکستر برنج، کاه لوبیا و ضایعات غذایی رویشی) بیشتر از کود مرغی است. به‌طور مشابهی، نتایج اسلام و همکاران (Islam et al., 2016) نشان داد که اثر نسبت کود به آب و زمان بر مقدار هدایت الکتریکی چای کمپوست معنی‌دار (سطح احتمال ۰/۰۱ درصد) بود. به‌طوری‌که مقادیر هدایت الکتریکی با افزایش زمان و نسبت کود به آب از ۱:۱۰ به ۱:۲/۵ افزایش یافت.

با وجود مقدار بیشتر پتاسیم کل در ورمی‌کمپوست (جدول ۱)، به‌طور میانگین مقدار پتاسیم در چای کود گاوی ۱/۴ برابر بیشتر از مقدار پتاسیم در چای ورمی‌کمپوست بود (شکل ۶). این نتیجه نشان می‌دهد که تنها مقدار کل یک عنصر در ماده آلی نمی‌تواند تعیین کننده مقدار محلول آن عنصر در چای حاصل باشد. به عبارت دیگر، ساختار شیمیایی ماده آلی مورد استفاده و چگونگی توزیع عنصر در اجزای مختلف آلی و معدنی آن می‌تواند بر انحلال بخش معدنی و تجزیه زیستی بخش آلی آن مؤثر باشد. مطابق نتایج ارائه شده در شکل ۶ همان‌طور که انتظار می‌رفت، در هر دو نوع ماده آلی در نسبت‌های کمتر آب به ماده آلی مقدار پتاسیم محلول بیشتر بود و هوادهی موجب افزایش مقدار پتاسیم محلول در نتیجه افزایش انحلال نمک‌های معدنی و افزایش تجزیه زیستی ترکیبات آلی در همه نسبت‌ها شد. هرچند که افزایش زمان هوادهی تا ۷۲ ساعت در نسبت ۱:۲۵ کود گاوی و ورمی‌کمپوست و در نسبت ۱:۵۰ ورمی کمپوست تأثیر معنی‌داری بر مقدار پتاسیم محلول نسبت به زمان ۲۴ ساعت هوادهی نداشت.



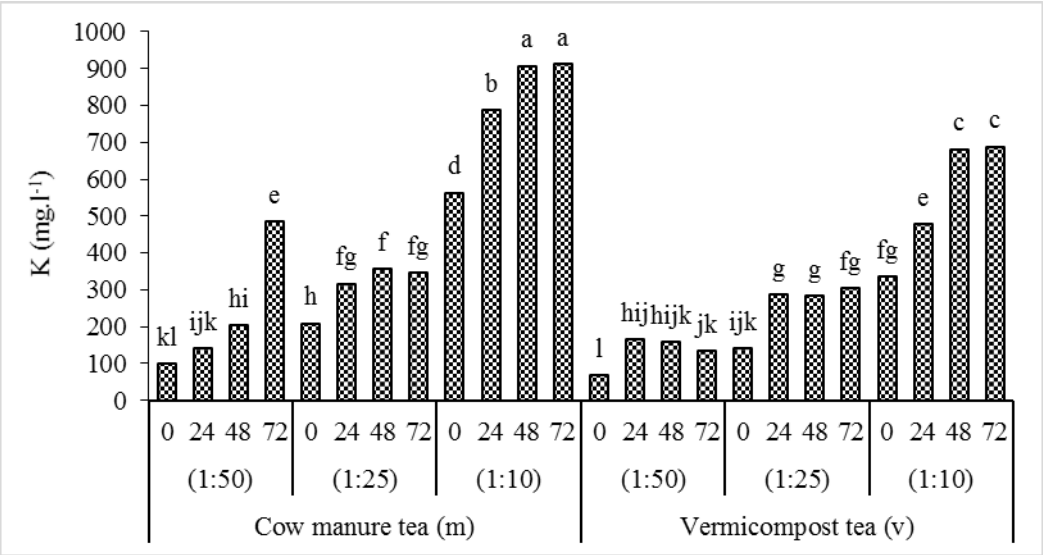
شکل ٤- اثر زمان (ساعت) و نسبت (ماده آلی به آب) بر هدایت الکتریکی (EC) چای کود آلی

Fig. 4- The effect of time (hours) and ratio (organic matter to water) on the electrical conductivity (EC) of organic fertilizer tea



شکل ٥- اثر تأثیر نوع ماده آلی (چای کود گاوی (m) و چای ورمی‌کمپوست (v)) و نسبت (ماده آلی به آب) بر هدایت الکتریکی (EC) چای ماده آلی

Fig. 5- The effect of organic matter type (cow manure tea (m) and vermicompost tea (v)) and ratio (organic matter to water) on electrical conductivity (EC) of organic matter tea

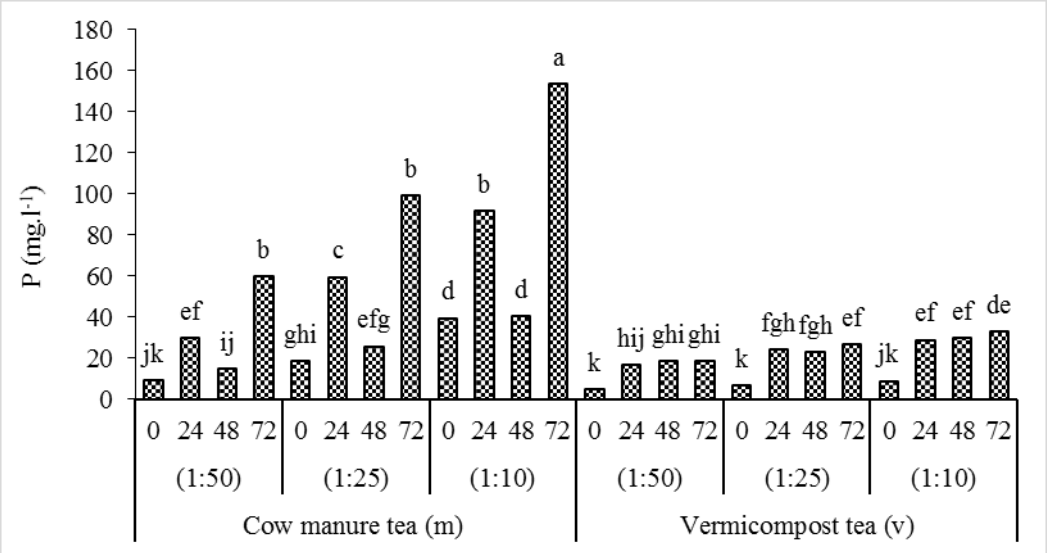


شکل ٦- اثر نوع ماده آلی (چای کود گاوی(m) و چای ورمی‌کمپوست (v))، نسبت (ماده آلی به آب) و زمان هوادهی (ساعت) بر پتاسیم محلول (K)

Fig. 6- The effects of organic matter type (cow manure tea (m) and vermicompost tea (v)), ratio (organic matter to water), and aeration time (hours) on soluble potassium (K)

تفاوت در زمان ۴۸ و ۷۲ ساعت تنها در تیمار ۱:۵۰ چای کود گاوی مشاهده شد. در این تیمار هوادهی موجب افزایش پتاسیم محلول به‌مقدار ۴/۹ و ۲/۴ برابر به‌ترتیب نسبت به زمان‌های صفر و ۴۸ ساعت گردید. پانت و همکاران (Pant et al., 2011) با بررسی چای ورمی‌کمپوست تهیه شده از کود مرغی در نسبت ۱:۱۰ کود به آب، تحت تیمار هوادهی (بدون هوادهی و هوادهی شده) بیان کردند که مقدار پتاسیم در چای ورمی‌کمپوست هوادهی نسبت به سایر تیمارهای بدون هوادهی به‌طور معنی‌داری بیشتر بود.

در مورد فسفر نیز با وجود مقدار کل بیشتر در ورمی‌کمپوست (جدول ۱)، به‌طور میانگین مقدار فسفر محلول در تیمارهای آزمایش در چای کود گاوی ۲/۷ برابر مقدار آن در تیمارهای چای ورمی‌کمپوست بود. به نظر می‌رسد که آلی شدن فسفر در نتیجه فعالیت کرم‌های خاکی در ورمی‌کمپوست بر قابلیت دسترسی و معدنی شدن آن تأثیرگذار است. در تهیه چای ورمی‌کمپوست در همه نسبت‌ها، هوادهی بر مقدار فسفر محلول تأثیر معنی‌دار داشت، هرچند که افزایش زمان هوادهی از ۲۴ تا ۷۲ ساعت تأثیر معنی‌داری بر مقدار فسفر محلول نداشت. تغییرات فسفر محلول در چای کود گاوی در نسبت‌های مختلف تحت تأثیر زمان هوادهی متفاوت بود. در حالی که هوادهی در زمان‌های ۲۴ و ۷۲ ساعت و به‌ویژه ۷۲ ساعت تأثیر معنی‌داری بر افزایش فسفر محلول داشت. در همه نسبت‌های مورد مطالعه زمان ۴۸ ساعت اثر معنی‌داری بر فسفر محلول نسبت به زمان صفر نداشت. به نظر می‌رسد، این نتیجه حاصل اثر متقابل واکنش های شیمیایی انحلال و رسوب و واکنش‌های زیستی بر چای کمپوست حاصل از کود گاوی باشد. مقدار افزایش فسفر در نتیجه ۷۲ ساعت هوادهی نسبت به زمان صفر در نسبت‌های ۱:۱۰، ۱:۲۵ و ۱:۵۰ به‌ترتیب ۳/۹، ۵/۴ و ۶/۷ برابر بود. به عبارت دیگر، درصد افزایش نسبت به تیمار بدون هوادهی در نسبت‌های بالاتر بیشتر بود. مارتین و همکاران (Martin et al., 2012) اثر انواع کمپوست (کمپوست برگ موز و کمپوست چمن) هوادهی و زمان دم کردن بر مقدار فسفر چای کمپوست را مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیشترین مقادیر فسفر در تیمار بدون هوادهی در هر دو چای کمپوست به‌دست آمد. این در حالی بود که بیشترین مقادیر پتاسیم در تیمار بدون هوادهی در چای کمپوست چمن مشاهده شد.

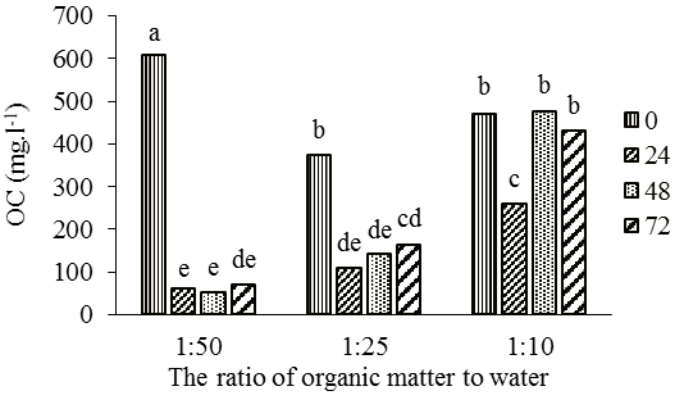


شکل ۷- اثر نوع ماده آلی (چای کود گاوی (m) و چای ورمی‌کمپوست (v))، نسبت (ماده آلی به آب) و زمان هوادهی (ساعت) بر فسفر محلول (P)

Fig. 7- The effects of organic matter type (cow manure tea (m) and vermicompost tea (v)), ratio (organic matter to water), and aeration time (hours) on soluble phosphorus (P)

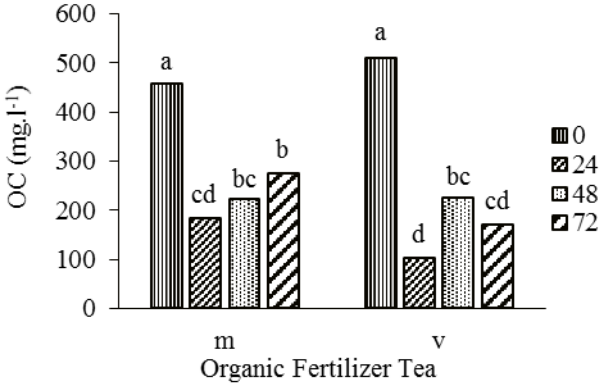
مطابق شکل ۸ اثر متقابل نسبت مورد استفاده و زمان هوادهی بر مقدار کربن آلی محلول مؤثر بود. بیشترین مقدار کربن آلی محلول در نسبت ۱:۵۰ در زمان صفر به‌دست آمد. در نسبت ۱:۲۵ و ۱:۵۰ هوادهی موجب کاهش قابل توجه کربن آلی محلول نسبت به تیمار

بدون هوادهی در زمان صفر شد. به نظر می‌رسد که با هوادهی و افزایش فعالیت ریزجانداران در این نسبت‌ها کربن آلی محلول به‌عنوان یک منبع قابل دسترس به سرعت مورد استفاده قرار گرفته است و سرعت مصرف کربن آلی بیشتر از سرعت تولید آن در نتیجه تجزیه مواد آلی بوده است. در حالی که در نسبت ۱:۱۰ در نتیجه وجود مقادیر بیشتر مواد آلی در واحد حجم محلول این اثر تا زمان ۲۴ ساعت مشاهده شد و بعد از آن با تأثیر ریزجانداران بر بخش جامد ماده آلی، کربن آلی محلول مجدد افزایش یافته است. از این جهت مقدار منابع آلی در دسترس در طی زمان می‌تواند بر مقدار کربن آلی محلول تأثیرگذار باشد. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۹، نوع ماده آلی استفاده شده در تهیه چای کمپوست تأثیر معنی‌داری بر مقدار کربن آلی محلول در زمان‌های هوادهی صفر، ۲۴ و ۴۸ ساعت نداشت و تنها در زمان ۷۲ ساعت مقدار کربن آلی محلول در چای کود گاوی به‌طور معنی‌داری بیشتر از چای ورمی‌کمپوست بود. کاهش معنی‌دار کربن آلی محلول در نتیجه هوادهی در این شکل نیز مشخص است. کیم و همکاران (Kim et al., 2015) نشان دادند که اثر نسبت کود به آب و زمان بر کربن آلی چای کمپوست معنی‌دار بود. به‌طوری‌که بالاترین مقدار کربن آلی در نسبت ۱:۲/۵ کمپوست به آب مشاهده شد. به‌طور کلی، بیشترین مقدار عناصر غذایی فسفر و پتاسیم در بالاترین زمان هوادهی (۷۲ ساعت) مشاهده شد.



شکل ۸- اثر نسبت (ماده آلی به آب) و زمان هوادهی (ساعت) بر کربن آلی محلول (OC)

Fig. 8- The effect of ratio (organic matter to water) and aeration time (hours) on dissolved organic carbon (OC)



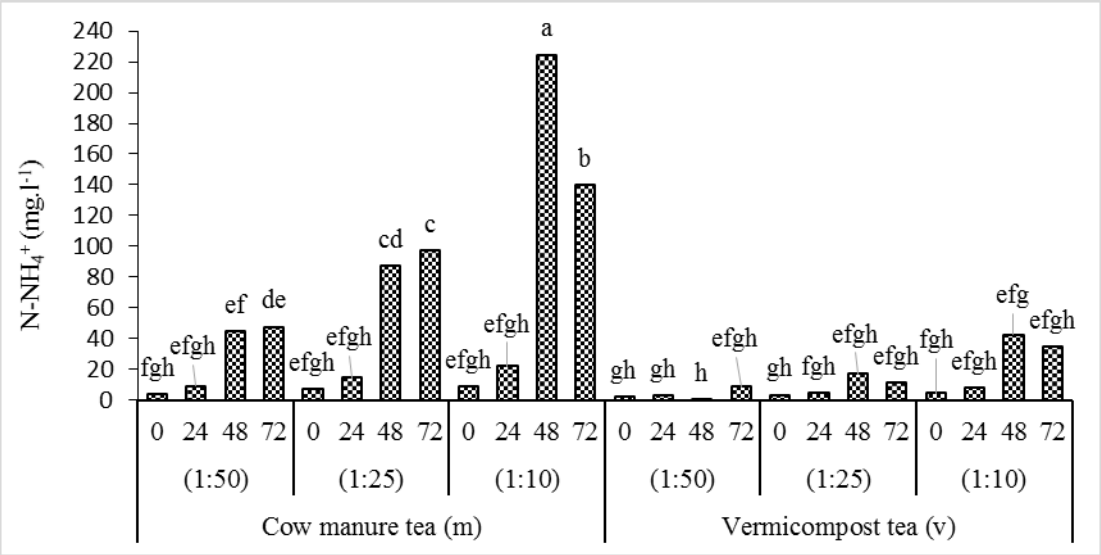
شکل ۹- اثر نوع ماده آلی (چای کود گاوی (m) و چای ورمی‌کمپوست (v)) و زمان هوادهی (ساعت) بر کربن آلی محلول (OC)

Fig. 9– The effect of organic matter type (cow manure tea (m) and vermicompost tea (v)) and aeration time (hours) on dissolved organic carbon (OC)

شکل ۱۰ اثرات متقابل سه گانه تأثیر نوع ماده آلی، نسبت و زمان هوادهی را بر مقدار آمونیوم نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده مقدار آمونیوم در چای ورمی‌کمپوست در مجموع کمتر از چای کود گاوی بود و تیمارهای آزمایش تأثیر معنی‌داری بر مقدار آن

نداشت. در حالی که مقدار آمونیوم در چای کود گاوی در نتیجه هوادهی به‌مدت ۴۸ و ۷۲ ساعت با افزایش نسبت ماده آلی به آب در مقایسه با زمان صفر افزایش یافت. بیشترین مقدار آمونیوم در نسبت ۱:۱۰ با زمان هوادهی ۴۸ ساعت حاصل شد.

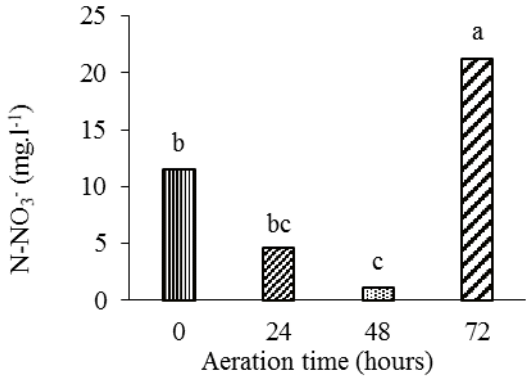
تنها فاکتور مؤثر بر مقدار نیترات زمان هوادهی بود که شکل ۱۱ نتایج تأثیر زمان هوادهی بر مقدار نیترات را نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج روند کاهش نیترات با زمان هوادهی تا ۴۸ ساعت مشاهده شد، هرچند که در مقایسه با زمان صفر مقدار نیترات در زمان ۲۴ ساعت تفاوت معنی‌داری با زمان صفر نداشت و در زمان ۴۸ ساعت مقدار آن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. هوادهی به‌مدت ۷۲ ساعت موجب افزایش معنی‌دار نیترات نسبت به دیگر زمان‌ها شد. نتایج نشان داد که هوادهی با افزایش فعالیت‌های زیستی موجب افزایش تجزیه مواد آلی محلول شد (شکل ۹). افزایش فعالیت‌های زیستی با ایجاد رقابت در استفاده از منابع کاملاً فراهم کربن و نیتروژن (مواد آلی محلول و نیترات) می‌تواند دلیل کاهش نیترات با افزایش زمان هوادهی تا ۴۸ ساعت باشد.



شکل ۱۰- اثر نوع ماده آلی (چای کود گاوی (m)و چای ورمی‌کمپوست (v))، نسبت (ماده آلی به آب) و زمان هوادهی (ساعت) بر نیتروژن آمونیومی ($N-NH_4^+$)

Fig. 10- The triple effects of organic matter type (cow manure tea (m) and vermicompost tea (v)), ratio (organic matter to water), and aeration time (hours) on ammonium-nitrogen ($N-NH_4^+$)

با این‌حال، افزایش زمان هوادهی می‌تواند موجب افزایش تجزیه مواد آلی بخش جامد و معدنی شدن نیتروژن گردد. معدنی شدن نیتروژن با افزایش مقدار آمونیوم در زمان ۴۸ ساعت (شکل ۱۰) و تولید نیترات در زمان ۷۲ ساعت (شکل ۱۱) همراه بود. به نظر می رسد که در زمان ۷۲ ساعت در نتیجه واکنش زیستی نیتریفیکاسیون با تبدیل آمونیوم به نیترات غلظت نیترات افزایش پیدا کرده است. مارتین و همکاران (Martin et al., 2012) با بررسی اثرات و ارتباط انواع کمپوست (کمپوست برگ موز و کمپوست چمن) هوادهی و زمان دم کردن بر ویژگی‌های چای کمپوست بیان کردند که بیشترین مقدار آمونیوم و نیترات در تیمار بدون هوادهی با زمان دم کردن ۵۶ ساعت در هر دو چای کمپوست مشاهده شد. زیرا میزان و مقدار مصرف نیتروژن توسط ریزجانداران بی‌هوازی به‌طور کلی، کندتر و کمتر از ریزجانداران هوازی است.



شکل ۱۱- اثر زمان هوادهی بر نیتروژن نیتراتی ($N\text{-}NO_3^-$)

Fig. 11- Effect of aeration time on nitrate-nitrogen ($N\text{-}NO_3^-$)

نتیجه‌گیری

با افزایش علاقه بـه اسـتفاده از چـای کمپوسـت در کشـاورزی و باغداری، تقاضا برای شواهد علمی در مورد عواملی که می‌توانند برای بهینه‌سازی چای‌های کمپوست اثربخش باشند، افزایش یافتـه اسـت. نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر نشان داد که زمان هوادهی (صفر، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت) و نسبت کود به آب (۱:۱۰، ۱:۲۵ و۱:۵۰) مـی‌تواند به‌طور معنـی‌داری بـر ویژگـی‌هـای شـیمیایی چـای کـود آلـی (ورمی‌کمپوست و گاوی) مـؤثر باشـد، بـه‌طـوری‌کـه در ایـن مطالعـه هوادهی احتمالاً به‌دلیل تولید اسیدهای آلی و افـزایش معـدنی شـدن مواد آلی در نتیجه افزایش فعالیت‌های زیستی موجـب کـاهش pH و افزایش هدایت الکتریکی شد. این در حالی بود که زمان هوادهی تأثیر معنی‌داری بر این دو ویژگی نشان نداد. همچنین با وجـود مقـدار کـل بیشتر عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ورمی‌کمپوست نسبت به کود گاوی، چای حاصل از آن حاوی مقـادیر کمتـری از آمونیـوم، فسـفر و پتاسیم محلول بود. این نتایج نشان می‌دهد که در شرایط این آزمایش تجزیه‌پذیری زیستی ورمی‌کمپوست کمتر از کود گاوی بوده است.

References

1. Albiach, R., Canet, R., Pomares, F., & Ingelmo, F. (2000). Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Bioresource Technology*, *75*(1), 43-48. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00030-4
2. Barker, A.V., & Bryson, G.M. (2006). Comparisons of composts with low or high nutrient status for growth of plants in containers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *37*(9-10), 1303-1319. https://doi.org/10.1080/00103620600626460
3. Bremner, J.M., & Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen total. *Methods of soil analysis*. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 595-624.
4. FAO, Soils Bulletin 21. (1972). Calcareous soils. Report of the FAO/UNDP regional seminar on reclamation and management of calcareous soils.
5. Fathima, M., & Sekar, M. (2014). Studies on growth promoting effects of vermiwash on the germination of vegetable crops. *International Journal of Current Microbiolgy Applied Science*, *3*(6), 564-570.
6. Gopal, M., Gupta, A., Palaniswami, C., Dhanapal, R., & Thomas, G.V. (2010). Coconut leaf vermiwash: A bio-liquid from coconut leaf vermicompost for improving the crop production capacities of soil. *Current Science*, *10*, 1202-1210.
7. Gorliczay, E., Pecsmán, D., & Tamás, J. (2018). Testing laboratory parameters of compost tea. Acta *Agraria Debreceniensis*, *75*, 31–36. https://doi.org/10.34101/actaagrar/75/1642
8. Haggag, W.M., & Saber, M.S.M. (2007). Suppression of early blight on tomato and purple blight on onion by foliar sprays of aerated and non-aerated compost teas. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 5(2), 302-309.
9. Ingham, E. (2005). The compost tea brewing manual. vol. 728. Soil Foodweb Incorporated Oregon, Corvallis, OR, USA.

10. Islam, M.K., Yaseen, T., Traversa, A., Kheder, M.B., Brunetti, G., & Cocozza, C. (2016). Effects of the main extraction parameters on chemical and microbial characteristics of compost tea. *Waste Management*, *52*, 62-68. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.042
11. Islam, M., Ali, S., & Hayat, R. (2009). Effect of integrated application of phosphorus and sulphur on yield and micronutrient uptake by chickpea (*Cicer arietinum*). *International Journal of Agriculture and Biology*, *11*(1), 33-38.
12. Kim, M.J., Shim, C.K., Kim, Y.K., Hong, S.J., Park, J.H., Han, E.J., Kim, J.H., & Kim, S.C. (2015). Effect of aerated compost tea on the growth promotion of lettuce, soybean, and sweet corn in organic cultivation. *The Plant Pathology Journal*, *31*(3), 259-268. htpps://doi.org/10.5423/PPJ.OA.02.2015.0024
13. Koné, S.B., Dionne, A., Tweddell, R.J., Antoun, H., & Avis, T.J. (2010). Suppressive effect of non-aerated compost teas on foliar fungal pathogens of tomato. *Biological Control*, *52*(2), 167-173. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.10.018
14. Martin, C.C.G., Dorinvil, W., Brathwaite, R.A.I., & Ramsubhag, A. (2012). Effects and relationships of compost type, aeration and brewing time on compost tea properties, efficacy against *Pythium ultimum*, phytotoxicity and potential as a nutrient amendment for seedling production. *Biological Agriculture & Horticulture*, *28*(3), 185-205. https://doi.org/10.1080/01448765.2012.727667
15. Murphy, J.A.M.E.S., & Riley, J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, *27*, 31-36. https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5
16. Naidu, Y., Meon, S., Kadir, J., & Siddiqui, Y. (2010). Microbial starter for the enhancement of biological activity of compost tea. *International Journal of Agriculture and Biology*, *12*(1), 51-56.
17. Pant, A., Radovich, T.J.K., Hue, N.V., and Arancon, N.Q. (2011). Effects of vermicompost tea (aqueous extract) on pak choi yield, quality, & on soil biological properties. *Compost Science & Utilization*, *19*(4), 279-292. https://doi.org/10.1080/1065657X.2011.10737010
18. Scheuerell, S., & Mahaffee, W. (2002). Compost tea: principles and prospects for plant disease control. *Compost Science & Utilization*, *10*(4), 313-338. https://doi.org/10.1080/1065657X.2002.10702095
19. Scheuerell, S.J., & Mahaffee, W.F. (2004). Compost tea as a container medium drench for suppressing seedling damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology*, *94*(11), 1156-1163. htpps://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.11.1156
20. Shaban, H., Fazeli-Nasab, B., Alahyari, H., Alizadeh, G., & Shahpesandi, S. (2015). An overview of the benefits of compost tea on plant and soil structure. *Advances in Bioresearch*, *6*(61), 154-158. htpps://doi.org/10.15515/abr.0976-4585.6.1.15415
21. Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, *37*(1), 29-38. htpps://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003
22. Yan, F., Schubert, S., & Mengel, K. (1996). Soil pH increases due to biological decarboxylation of organic anions. *Soil Biology and Biochemistry*, *28*(4-5), 617-624. https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)00180-8

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

Research Article
Vol. 15, No. 3, Fall 2023, p. 481-504

Investigation of Organic and Biofertilizer Sources and Harvesting Time on Quantitative and Qualitative Characteristics of Sage (*Salvia officinalis* L.)

Abdollah Javanmard[1*], Mohammad Reza Abasian[2], Ali Ostadi[3] and Haniyeh Shabkhiz[3]

Received: 21-09-2021
Revised: 29-01-2022
Accepted: 02-02-2022
Available Online: 02-02-2022

How to cite this article:
Javanmard, A., Abasian, M. R., Ostadi, A., & Shabkhiz, H. (2023). Investigation of organic and biofertilizer sources and harvesting time on quantitative and qualitative characteristics of Sage (*Salvia officinalis* L.) *Journal of Agroecology, 15(3),* 481-504.
DOI: 10.22067/agry.2022.72527.1066

Introduction

In the conventional agricultural systems, the excessive use of chemical inputs, such as chemical fertilizers, increased the agricultural productivity. Detrimental implications from intensive farming practices and long-term use of chemical fertilizers have been well evidenced in the environment and human health. Intercropping systems and application of organic fertilizers and biofertilizers, including vermicompost and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), are recommended in developing sustainable agricultural systems. The objectives were to evaluate the effect of different fertilizer sources on the quantity and quality characteristics of *Salvia officinalis* L.

Materials and Methods

The experiment consisted of two successive phases at the Miandoab, Iran, in 2019-2020. The first was the cultivation of spring green manure until the soft dough stage of barley and flowering stage of hairy vetch, then returned to the soil, and the second phase was the cultivation of the medicinal plant of sage. Two species, barley (*Hordeum vulgare* L.) and hairy vetch (*Vicia villosa*), were used as green manure. In the second phase, a field experiment study was carried out as a split plot in time based on a randomized complete block design (RCBD) with 16 treatments and three replications. The main plot factor was eight different fertilizer sources, including control (C), barley monoculture (B), hairy vetch monoculture (V), 75% V + 25% B, 50% V + 50% B and 25% V + 75% B, AMF: arbuscular mycorrhizal fungus (*Rhizophagus intraradices*) and vermicompost. Also the subplot factor was harvesting time (first and second harvest). In AM fungi treatments, 80 g of the soil containing mycorrhizal fungi hyphae and the remains of the root and spores was added to the soil in planting times. Also, vermicompost (2 t ha^{-1}) was applied to the soil before planting. Analysis of variance of the data and mean comparison based on the least significant difference (LSD) test and interaction effect slicing of different fertilizer sources × harvesting time were carried out by using SAS 9.3 statistical software.

Results and Discussion

Plant height, number of lateral branches, number of leaves, chlorophyll index, leaf dry weight, stem dry weight, essential oil percentage, and yield were significantly affected by the interaction of different fertilizer sources×harvesting times. The highest dry matter yield was achieved under AMF followed by 50% V+ 50% B. Also the highest of chlorophyll index and essential oil percentage of sage in both harvesting time was obtained in 50% V

1- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.
2- M.Sc. Student of Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.
3- Ph.D. Student of Agrotechnology–Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.
(*- Corresponding author's Email: a.javanmard@maragheh.ac.ir)

+ 50% B. Also, the first harvesting time increased by 33.9, 10.7 and 40.7% of this trait in comparison with the second harvest. In addition, the maximum essential oil yield was observed in AMF followed by 50% V+ 50% B in the first harvest. Chemical analysis of the essential oil of sage demonstrated that cis-Thujone, 1, 8-cineole and camphor were the main dominant components in all treatments. The maximum cis-Thujone, 1, 8-cineole content was achieved in 50% V+ 50% B and the second harvest. Also, the highest of camphor was observed in 25% V+ 75% B treatment and first harvest. The roots of green manure plants can uptake nutrients from the lower soil layers and transfer them to the aerial parts of the plant. By incorporating green manure, the sage growth characteristics improved due to increasing soil microbiological processes and releasing of nutrients. Also, mycorrhizal fungus inoculation enhanced plant performance by increasing available phosphorus and nitrogen. Treating plots with 50% V + 50% B and AMF increases the essential oil percentage and compounds by releasing nitrogen and phosphorus into the soil. Also, the higher morphological traits, essential oil percentage, and yield in the first harvest than in the second harvest can be attributed to a longer growing period and optimal growth conditions (day length, sunlight, ambient temperature).

Conclusions

Treating plots with green manure and AMF improves the morphological traits, quantity, and quality of sage essential oil by adjusting the soil's chemical properties. According to the quantity and quality indicators, the application of 50% V+ 50% B as green manure and AMF can be suggested as an efficient and eco-friendly agricultural strategy in sage cultivation.

Keywords: *cis*-Thujone, Dry matter yield, Essential oil, Green manure, Sustainable agriculture

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز۱۴۰۲، ص ۵۰۴-۴۸۱

بررسی منابع کودی آلی و زیستی و زمان برداشت بر خصوصیات کمّی و کیفی مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.)

عبدالله جوانمرد[۱*]، محمدرضا عباسیان[۲]، علی استادی[۳] و حانیه شب‌خیز[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۳۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثر منابع کودی مختلف و زمان برداشت بر صفات مورفولوژیک، کمیت و کیفیت اسانس مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.)، آزمایشی در دشت میاندوآب به‌صورت اسپلیت پلات در زمان بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا گردید. فاکتور کرت اصلی شامل عدم مصرف کودهای آلی و زیستی (به‌عنوان شاهد)، کشت خالص جو، کشت خالص ماشک، ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو، تلقیح با قارچ میکوریزا (*Rhizophagus intraradices*) و ورمی کمپوست بود. فاکتور کرت فرعی هم شامل چین اول و چین دوم بود. نتایج نشان داد که همه صفات رشدی و عملکردی مورد مطالعه به‌جز عملکرد ماده خشک تحت تأثیر معنی‌دار اثر متقابل منابع کودی × چین قرار گرفتند. همچنین براساس نتایج برش‌دهی اثر متقابل منابع کودی مختلف × چین مشخص گردید که کاربرد قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو روی صفات رشدی و عملکردی بیشترین تأثیر را داشتند. بیشترین عملکرد ماده خشک مریم‌گلی در نتیجه کاربرد قارچ میکوریزا به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو نداشت. همچنین بیشترین شاخص کلروفیل و درصد اسانس مریم‌گلی در هر دو چین در تیمار کود سبز ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌دست آمد. علاوه‌براین، بیشترین عملکرد اسانس در نتیجه کاربرد قارچ میکوریزا در چین اول به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو در همان چین نداشت. آنالیز شیمیایی اسانس مریم‌گلی مشخص کرد که سیس-توجن، ۱ و ۸- سینئول وکامفور ترکیبات اصلی اسانس بودند. بیشترین میزان سیس-توجون و ۱و۸-سینئول در تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو از چین دوم به‌دست آمد. همچنین، بیشترین میزان کامفور در تیمار ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو در چین اول حاصل شد. بر اساس نتایج این پژوهش، استفاده از تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌عنوان کود سبز اثرات مثبتی روی گیاه مریم گلی داشت. همچنین کود زیستی قارچ میکوریزا نیز می‌تواند منجر به بهبود صفات کمّی و کیفی مریم‌گلی گردد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، سیس- توجن، عملکرد ماده خشک، کشاورزی پایدار، کود سبز

مقدمه

گیاهان دارویی بخش مهمی از تنوع زیستی موجود در بسیاری از

۱- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، ایران.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، ایران.
۳- دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی-اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، ایران.
(*- نویسنده مسئول:
Email: a.javanmard@maragheh.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2022.72527.1066

کشورهای جهان را به خود اختصاص می‌دهد. به‌دلیل پتانسیل فوق‌العاده این گیاهان در طب مدرن و سنتی در سال‌های اخیر، کشت و کار این گیاهان اهمیت بیشتری پیدا کرده است (Govahi et al., 2017). خانواده نعناع (Lamiaceae) دارای ۲۰۰ جنس و ۳۳۰۰ گونه می‌باشد، یکی از گونه‌های این خانواده، مریم‌گلی با نام علمی *Salvia officinalis* است. برگ‌های مریم‌گلی حاوی انواع مختلفی از فلاونوئیدها و ترکیبات فنولیک می‌باشند و دارای خواص دارویی مهمی همچون فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی بوده و علاوه‌براین، از برگ‌های مریم‌گلی در فرآوری مواد غذایی و عطرسازی استفاده می‌شود (El-Haddad et al., 2020). برخی ترکیبات موجود در اسانس مریم‌گلی نظیر ۱ و ۸ سینئول، بورنئول، کامفور و توجن دارای خصوصیاتی چون ضدمیکروبی، آنتی‌اکسیدانی، بهبود حافظه و آلزایمر و ضدسرطان می‌باشند (Govahi et al., 2017).

بعد از انقلاب سبز استفاده از کودهای شیمیایی، به‌عنوان سریع‌ترین راه برای جبران کمبود عناصر غذایی خاک گسترش چشم‌گیری پیدا کرد. تلاش برای افزایش تولید در واحد سطح و مصرف زیاد و نامتعادل کودهای شیمیایی، علاوه‌بر کاهش بازدهی و افزایش هزینه‌های تولید، پیامدهای منفی زیست‌محیطی زیادی را به دنبال داشته است (Meena et al., 2018). به همین دلیل، امروزه استفاده از کودهای زیستی و آلی برای کاهش مشکلات ناشی از کودهای شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است.

کودهای سبز، گیاهانی هستند که برای مدت معین در زمین‌های زراعی کاشته و در مرحله‌ای از رشد (عموماً گل‌دهی یا خمیری دانه) به‌منظور حاصلخیزی و بهبود ساختمان خاک، به زمین برگردانده می‌شوند. برگشت کودهای سبز در خاک سبب افزایش ماده آلی و نیتروژن خاک گردیده و از طریق آزادسازی تدریجی عناصر غذایی، حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهند. علاوه‌براین کاربرد لگوم‌ها به عنوان کود سبز به‌دلیل تثبیت نیتروژن اتمسفری و ایجاد شرایط مطلوب برای ریزجانداران مفید خاکزی می‌توانند به‌عنوان یکی از روش‌های کاهش وابستگی به کودهای معدنی مورد استفاده قرار گیرند. در پژوهشی مشخص شد که نیتروژن آزاد شده از طریق کود سبز گون (*Astragalus lentiginosus* L.)، ۱۷ درصد از نیاز نیتروژن گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) را در طول فصل رشد تأمین کرد (Gao et al., 2020). در مطالعه‌ای کاربرد کودهای سبز یونجه (*Medicago sativa* L.) و چاودار (*Secale montanum* L.) سبب افزایش درصد و عملکرد اسانس نعناع‌فلفلی (*Mentha piperita*) گردید (Bidgoli & Mahdavi, 2018). در پژوهشی دیگری با بررسی تولید زیست‌توده و کیفیت اسانس علف لیمو (*Cymbopogon matini* Roxb) گزارش شد که بیشترین عملکرد اسانس در تیمار کود سبز و چین دوم به‌دست آمد (Pinzon-Torres et al., 2014).

امروزه رویکرد جهانی در تولید، به‌سمت کشاورزی پایدار و به کارگیری روش‌های مدیریتی پایدار و سالم است. ورمی‌کمپوست به عنوان یک کود آلی، حاوی عناصری همچون فسفات، کلسیم، پتاسیم، نیتروژن و منیزیم بوده که رشد و عملکرد گیاهان را بهبود می‌بخشد. به‌طوری‌که در پژوهشی در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*)، ورمی‌کمپوست باعث افزایش عملکرد زیست‌توده و بهبود کیفیت و عملکرد اسانس در مقایسه با شاهد شد (Prabha et al., 2007). در پژوهش دیگری، رشد و ترکیبات اسانس مریم‌گلی با کاربرد ورمی‌کمپوست و کمپوست افزایش یافت. علاوه‌براین، افزایش درصد و عملکرد اسانس مریم‌گلی با کاربرد ورمی‌کمپوست بیشتر از کود آلی کمپوست بود (El-Haddad et al., 2020). نتایج تحقیقی نشان داد، استفاده از کودهای آلی می‌تواند ضمن بهبود ویژگی‌های کیفی اسانس گاو زبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch. & Mey.)، اثرات مخرب ناشی از مصرف کودهای شیمیایی را کاهش و سلامت محصول و پایداری تولید را در درازمدت تضمین نماید (Amiri et al., 2017).

کاربرد کودهای زیستی نه تنها نقش مهم و اساسی در افزایش عملکرد گیاهان دارویی دارند، بلکه بر کیفیت مواد مؤثره نیز مؤثر می‌باشند (Omidbaigi, 2013). به‌طوری‌که همزیستی گیاهان دارویی با قارچ‌های میکوریزا آرباسکولار به‌عنوان یکی از انواع کودهای زیستی به افزایش متابولیت‌های اولیه و ثانویه در این گیاهان منجر می‌گردد. در گیاهانی همچون جعفری (*Petroselinum crispum*) و پونه (*Mentha pulegium*) افزایش سطوح متابولیت‌های ثانویه با کاربرد قارچ میکوریزا گزارش شده است (Gashgari et al., 2020). کاربرد قارچ *Rhizophagus intraradices* روی دو گونه ریحان (*Ocimum tenuiflorum* L.) منجر به افزایش درصد اسانس و وزن خشک برگ در هر دو گونه نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریزا شد و بیشترین میزان ترکیبات بتا کاریوفیلن و بتا الیمن در هر دو گونه ریحان با کاربرد قارچ میکوریزا حاصل شد (Thokchom et al.,

2020). در مطالعه‌ای دیگر روی بررسی اثرات انواع قارچ‌های میکوریزا در بهبود رشد، زیست‌توده و متابولیت‌های ثانویه گونه‌ای از مریم‌گلی (*Salvia miltiorrhiza* Bge) گزارش شد که همزیستی با قارچ‌های میکوریزا سبب افزایش رشد ریشه و متابولیت‌های ثانویه گردید (Wu et al ., 2021). به‌طور کلی، افزایش عملکرد گیاهان همزیست با میکوریزا به توانایی جذب عناصری همچون فسفر نسبت داده می‌شود (Fadaee et al., 2018). علاوه‌براین، افزایش عملکرد گیاهان تلقیح شده با میکوریزا به افزایش جذب آب، حفظ محتوای نسبی آب برگ، افزایش انتقال مواد، افزایش کلروفیل برگ، بالا رفتن سرعت فتوسنتز و نقش مهم و فعال‌تر واکنش نوری نسبت داده می‌شود (Khalvandia et al., Gheidarlouei et al., 2020 ; 2019)

با توجه به اهمیت استفاده از کودهای آلی و زیستی در تولید گیاهان دارویی، این پژوهش با هدف بررسی اثرات منابع کودی مختلف (کود سبز، قارچ میکوریزا، ورمی‌کمپوست) بر صفات کمّی و کیفی مریم‌گلی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

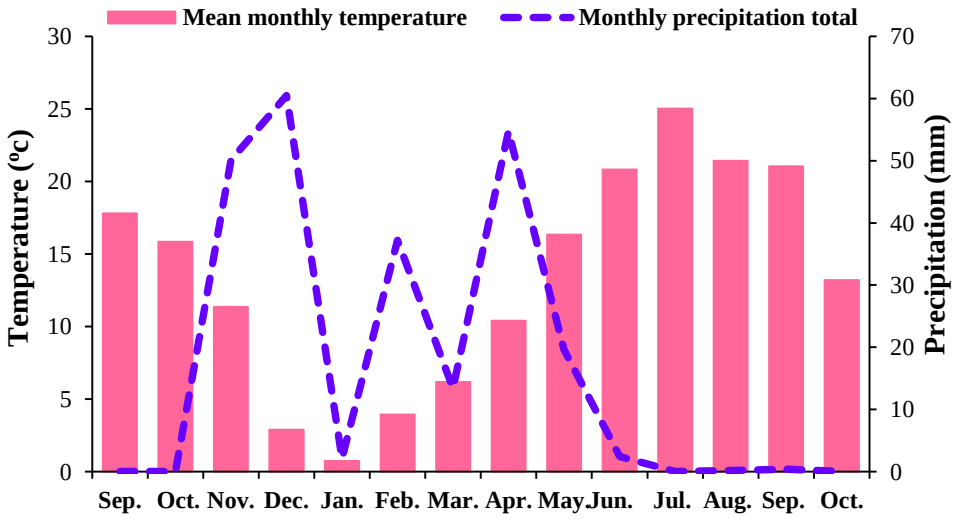
این پژوهش در دشت میاندوآب با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه و در ارتفاع ۱۳۱۴ متری از سطح دریا به‌صورت اسپلیت پلات در زمان بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار و سه تکرار در سال‌های زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا گردید. فاکتور کرت اصلی شامل عدم مصرف کودهای آلی و زیستی (به‌عنوان شاهد)، کشت خالص جو، کشت خالص ماشک، ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو، قارچ میکوریزا (*Rhizophagus intraradices*) (۸۰ گرم در هر ردیف کشت) و ورمی‌کمپوست (دو تن در هکتار) و فاکتور کرت فرعی شامل زمان برداشت (چین اول و چین دوم) بود. قبل از اجرای آزمایش یک نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن انتخاب و مورد تجزیه قرار گرفت (جدول ۱). مجموع بارش ماهانه و میانگین دمای ماهانه در حین اجرای آزمایش در شکل یک نشان داده شده است.

کشت گیاهان به‌عنوان کود سبز و برگرداندن بقایای آن‌ها به خاک (مرحله خمیری نرم جو و گل‌دهی ماشک) به‌ترتیب در هفتم فروردین و پانزدهم تیرماه ۱۳۹۸ انجام شد. تیمارهای کود سبز شامل کشت خالص جو رقم والفجر (*Hordeum vulgare* L.)، کشت خالص ماشک (*Vicia villosa*) و مخلوطی از دو گیاه با روش جایگزینی (۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو) بود. تراکم مطلوب جو و ماشک به‌ترتیب ۴۰۰ و ۲۵۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. قبل از کاشت به‌منظور جلوگیری از آلودگی بذور جو و ماشک به بیمارهای قارچی، بذرها با سم بنومیل به‌میزان دو در هزار ضدعفونی شدند. قبل از برگرداندن تیمارهای کود سبز ماشک و جو، برداشت از مساحت یک مترمربع برای تعیین زیست‌توده برگشتی به خاک صورت پذیرفت. سپس در پانزدهم تیرماه ۱۳۹۸ اندام‌های هوایی جو و ماشک به قطعات ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری خرد و با تیلر در عمق ۱۵ سانتی‌متری به زمین برگردانده شدند.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک قبل از شروع آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1- Soil analysis results before beginning the experiment (depth 0-30 cm)

بافت Texture	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	شاخص واکنش pH	مقدار پتاسیم تبادلی Amount of exchangeable K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب Available P ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total N (%)
لومی رسی شنی Sandy clay loam	0.89	0.255	7.2	410	9.32	0.065



شکل ۱- مجموع بارش ماهانه و میانگین دمای ماهانه در حین اجرای آزمایش

Fig. 1- Monthly total precipitation and mean monthly temperature in during the experiment

پس از اعمال تیمارهای کود سبز، برای تعیین خصوصیات شیمیایی خاک در فروردین ماه ۱۳۹۹ نمونه‌برداری از خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک صورت پذیرفت (جدول ۱۵). نشاهای مریم‌گلی در ۲۰ شهریورماه ۱۳۹۸ وقتی که ارتفاع آن‌ها ۱۵ سانتی‌متر بود به زمین اصلی انتقال و در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک با دست کشت شدند. هر کرت آزمایش شامل پنج خط کشت به طول چهار متر بود. فواصل بین کرت‌ها و بین بلوک‌ها به‌ترتیب ۱/۵و ۲ متر در نظر گرفته شد. فواصل بین و روی ردیف‌های کشت مریم‌گلی به‌ترتیب ۷۰ و ۴۰ سانتی‌متر لحاظ گردید (Omidbaigi, 2011). قارچ میکوریزا مورد استفاده در این تحقیق (*Rhizophagus intraradices*)، از شرکت زیست فناور پیشتاز واریان کرج تهیه گردید. موقع کاشت ۸۰ گرم از خاک حاوی هیف‌های قارچ میکوریزا، بقایای ریشه و اسپور (۱۰۰۰ اسپور در هر ۱۰ گرم خاک)، در هر خط کشت استفاده گردید. همچنین ورمی‌کمپوست از شرکت تولیدی نوآوران کشت و صنعت ساینا که با استفاده از کود دامی، برگ چغندر و دیگر مواد آلی و گونه‌ای کرم خاکی به‌نام *Eisenia foetida* به‌دست آمده، تهیه گردید. خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی ورمی‌کمپوست مورد استفاده

Table 2- Chemical properties of the vermicompost fertilizer used

نیتروژن کل Total N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	شاخص واکنش pH	هدایت الکتریکی EC (µmhos.cm^{-1})	کربن آلی Organic C (%)	مس Cu (mg.kg^{-1})	روی Zn (mg.kg^{-1})	کلسیم Ca (mg.kg^{-1})
1.6	0.47	0.27	7.84	1.64	7.13	3.84	66.6	8.75

مبارزه با علف‌های هرز در اوایل دوره رشد به صورت دستی صورت پذیرفت. اولین نوبت آبیاری بلافاصله بعد از کاشت به‌صورت قطره‌ای و در مراحل بعدی هر هفت روز یک بار صورت گرفت. شاخص کلروفیل نیز توسط دستگاه کلروفیل‌متر مدل Spad 502 Plus ساخت کشور ژاپن، از آخرین برگ کاملاً توسعه یافته در پنج بوته به‌طور تصادفی اندازه‌گیری شد. در نهایت، بعد از حذف اثرات حاشیه، برداشت در هر دو چین در مساحتی معادل دو مترمربع با هدف اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس صورت پذیرفت. برداشت مریم‌گلی در چین اول قبل از مرحله گل‌دهی در ۳۰ خردادماه صورت گرفت. همچنین چین دوم آن در ۱۵ مهرماه سال ۱۳۹۹ برداشت گردید. لازم به ذکر است، برداشت دو چین در ساعت ۱۲ ظهر صورت پذیرفت. برای تعیین وزن خشک، نمونه‌های برداشت شده از هر کرت را در سایه تا ثابت شدن وزن نگهداری شدند. همچنین برای استخراج اسانس از دستگاه کلونجر

استفاده شد. اسانس‌گیری به‌مدت سه ساعت صورت گرفت، ابتدا اسانس‌های استخراج شده با سولفات سدیم خشک آبگیری و سپس داخل ویال شیشه‌ای در دمای چهار درجه سانتی‌گراد تا زمان آنالیز نگهداری شدند. درصد و عملکرد اسانس براساس معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه شدند (Morshedloo et al., 2017).

معادله (۱)

۱۰۰ × (وزن خشک نمونه (گرم)/ وزن اسانس) = درصد اسانس

معادله (۲)

درصد اسانس × ماده خشک کل = عملکرد اسانس

شناسایی ترکیبات اسانس

برای شناسایی ترکیبات اسانس از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل شده به طیف سنجی جرمی (GC-MS) مدل Agilent 5977A ساخت کشور آمریکا، با ستون HP-5 MS (۵ درصد فنیل متیل پلی سیلوکسان، به‌طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت ماده جاذب ۰/۲۵ میکرومتر) استفاده شد. محاسبه و شناسایی ترکیبات اسانس به‌کمک شاخص‌های بازداری[1] خطی آن‌ها و مقایسه آن با شاخص‌های موجود در کتاب مرجع (Adams, 2007) و با استفاده از طیف‌های جرمی ترکیبات استاندارد و استفاده از اطلاعات موجود در کتابخانه کامپیوتری صورت گرفت (Morshedloo et al., 2018). برای جداسازی ترکیبات از دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Agilent 7990B ساخت کشور آمریکا با آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای[2] و ستون VF-5MS استفاده شد. کمّی کردن[3] ترکیبات اسانس با استفاده از نرمال‌سازی سطح پیک و بدون استفاده از ضرایب اصلاح انجام شد (Amani Machiani et al., 2018). در نهایت، بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس به‌صورت اسپلیت پلات در زمان و با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۳ انجام شد. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد و در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل، برش‌دهی با استفاده از آزمون Lsmeans صورت پذیرفت (Soltani, 2015). همچنین برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

صفات مریم‌گلی

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر منابع کودی مختلف، اثر چین و اثر متقابل منابع کودی مختلف × چین بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). همچنین نتایج برش‌دهی اثر متقابل منابع کودی× چین نشان داد که اثر منابع کودی بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد در هر سطح چین معنی‌دار بود (جدول ۶)، به‌طوری‌که در چین اول بیشترین ارتفاع بوته (۸۶/۴۰ سانتی‌متر) با کاربرد قارچ میکوریزا به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد ماشک +۵۰ درصد جو نداشت. همچنین، در چین دوم بیشترین ارتفاع بوته (۶۶/۳۰ سانتی‌متر) در ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو و کاربرد انفرادی قارچ میکوریزا نداشت (جدول ۷). ارتفاع بوته مریم‌گلی با کاربرد قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو، به‌ترتیب ۸۳/۸ و ۸۸/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۴). علاوه‌براین، ارتفاع بوته مریم‌گلی در چین اول ۳۳/۹ درصد بیشتر از چین دوم بود (جدول ۵). دلیل افزایش ارتفاع بوته در نتیجه کاربرد قارچ میکوریزا به جذب بهتر عناصر غذایی از قبیل نیتروژن، روی، فسفر و آمونیوم نسبت داده می‌شود (Ludwig-Müller, 2010). علاوه‌براین، کودهای سبز می‌توانند با عرضه بیشتر نیتروژن در خاک (جدول ۱۵) منجر به افزایش ارتفاع بوته گردند. زیرا ریشه‌های گیاهان کشت شده به‌عنوان کود سبز ازطریق جذب عناصر غذایی از لایه‌های پایینی خاک و انتقال آن به اندام‌های هوایی گیاه علاوه‌بر جلوگیری از آبشویی عناصر، پس از برگرداندن این گیاهان به خاک و تجزیه آن‌ها این عناصر مجدداً در خاک بازیافت و جذب گیاهان بعدی می‌شوند (Meena et al., 2018). بیشتر بودن ارتفاع بوته در چین اول نسبت به چین دوم به بیشتر بودن طول دوره رشد و شرایط بهینه رشدی (طول روز، تابش آفتاب، دمای محیط) در چین اول (Amani Machiani et al., 2018) مربوط می‌شود. در پژوهشی با بررسی منابع کودی مختلف بر خصوصیات کمّی و کیفی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) مشاهده شد که چین اول نسبت به چین دوم منجر به افزایش ۳۱/۵ درصدی ارتفاع بوته گردید (Bigonah et al., 2014). نتایج پژوهش راتی و همکاران (Ratti et al., 2001) در گیاه دارویی علف لیمو (*Cymbopogon citratus* L.) و کوپتا و همکاران (Gupta et al., 2004) روی گیاه نعناع وحشی (*Mentha arvensis*) با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

تعداد شاخه جانبی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر منابع کودی مختلف، اثر

1- Retention index
2 - Flame ionization detector (FID)
3 - Quantification

چین و اثر متقابل چین × منابع کودی مختلف بر تعداد شاخه جانبی مریم‌گلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۳). نتایج برش‌دهی اثر متقابل منابع کودی × چین نشان داد منابع کودی مختلف در هر سطح از زمان برداشت تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه جانبی مریم‌گلی داشتند (جدول ۶). در چین اول بیشترین تعداد شاخه جانبی (۳۶/۵۶) در ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کاربرد قارچ میکوریزا، ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو و کشت خالص ماشک نداشت. در چین دوم، بیشترین تعداد شاخه جانبی (۲۳/۴۶) با کاربرد قارچ میکوریزا حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو نداشت (جدول ۷). تعداد شاخه جانبی مریم‌گلی با کاربرد ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و قارچ میکوریزا به‌ترتیب ۹۷/۶ و ۹۶/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد (جدول ۴). همچنین تعداد شاخه جانبی در چین اول ۷۱/۴ درصد بیشتر از چین دوم بود (جدول ۵). در پژوهش حاضر، از آنجا که کاربرد تیمارهای ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و قارچ میکوریزا منجر به افزایش نیتروژن کل و مقدار پتاسیم تبادلی گردید. لذا می‌توان بیان نمود که افزایش نیتروژن و پتاسیم تبادلی می‌تواند به بهبود صفات رشدی و عملکردی از قبیل تعداد شاخه جانبی منجر گردد (جدول ۱۵). نتایج این پژوهش با نتایج کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2007) در گیاه درمنه (*Artemisia annua* L.) مطابقت داشت. در بین چین‌ها، چین اول دارای میانگین تعداد شاخه جانبی بیشتری بود (جدول ۵) که این می‌تواند ناشی از وجود تنها یک ساقه اصلی در گیاهان چین اول و ایجاد چندین ساقه اصلی تحت تأثیر از بین رفتن غالبیت ساقه اصلی در گیاه پس از برداشت چین اول باشد. با برداشت چین اول، گیاه برای رشد مجدد از بالای جوانه‌های باقی‌مانده شروع به رشد کرده و هرکدام از ساقه‌های به‌وجود آمده به‌عنوان ساقه اصلی می‌باشد که تولید تعداد کمتری شاخه جانبی نسبت به تک ساقه اصلی موجود در چین اول می‌کند (Modafe Behzadi et al., 2019).

تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر منابع کودی مختلف و اثر چین بر تعداد برگ در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل چین× منابع کودی مختلف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج برش‌دهی اثر متقابل منابع کودی × چین نشان داد که اثر منابع کودی بر تعداد برگ در هر چین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). در چین اول، بیشترین تعداد برگ (۱۴۸۶) با کاربرد قارچ میکوریزا به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو نداشت. همچنین، در چین دوم بیشترین تعداد برگ در ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کاربرد قارچ میکوریزا و ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو نداشت. همچنین، کمترین تعداد برگ در هر دو چین در شاهد (بدون کود آلی و زیستی) حاصل شد (جدول ۷). تعداد برگ مریم‌گلی با کاربرد قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کشت ماشک + ۵۰ درصد جو به‌ترتیب ۲۲۰/۹ و ۲۲۱/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۴). علاوه‌براین، چین اول منجر به افزایش ۳۳/۱ درصدی تعداد برگ مریم‌گلی نسبت به چین دوم گردید (جدول ۵). با آزادسازی نیتروژن موجود در بقایای گیاهان کود سبز و جذب آن توسط مریم‌گلی، سنتز پروتئین افزایش یافته و با تأثیر بر فرآیند فتوسنتز و تقسیم سلولی منجر به ازدیاد رشد رویشی و تعداد برگ گیاه می‌شود (Rahmani et al., 2008Meena et al., 2018 :). در پژوهشی با بررسی برگ پاوپاو (*Carica papaya* L.)، چریش (*Azadirachta indica* A. Juss.)، گز روغنی (*Moringa oleifera* Lam.) و مسکویت (*Prosopis africana* Guill., Perr. & A. Rich) به‌عنوان کود سبز روی بامیه (*Abelmoschus esculentus* L.) گزارش کردند که کود سبز تأثیر معنی‌داری بر تعداد برگ داشت، به‌طوری‌که بیشترین تعداد برگ با کاربرد کود سبز مسکویت به‌دست آمد و به‌طور میانگین کاربرد کود سبز منجر به افزایش ۳۷/۲ درصدی تعداد برگ نسبت به شاهد گردید (Adekiya et al., 2019). همچنین، قارچ میکوریزا علاوه‌بر توانایی جذب تدریجی عناصر غذایی، جذب آب و هدایت برگی را افزایش و با تنظیم فشار تورژسانس و با حفظ باز بودن روزنه‌ها، کارایی تثبیت کربن دی‌اکسید را افزایش (Wu et al., 2013) و از این طریق به نظر می‌رسد؛ می‌تواند به بهبود صفات رشدی از قبیل تعداد برگ منجر گردد. در پژوهشی روی مریم‌گلی قارچ *Septoglomus viscosum* منجر به افزایش ۲۲۸/۵ درصدی تعداد برگ نسبت به شاهد گردید (Tarraf et al., 2017). همچنین در پژوهشی با بررسی منابع کودی مختلف و زمان برداشت روی نعناع‌فلفلی، کاربرد *Glomus mosseae* منجر به افزایش ۵۹/۹ درصدی تعداد برگ نسبت به شاهد گردید. علاوه‌براین، چین اول نسبت به چین دوم منجر به افزایش ۹۱/۲ درصدی تعداد برگ گردید (Ostadi et al., 2020).

شاخص کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر منابع کودی مختلف و اثر چین بر شاخص کلروفیل در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل چین × منابع کودی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). برش‌دهی اثر متقابل منابع کودی × چین نشان داد، کاربرد منابع کودی مختلف در هر سطح از زمان برداشت تأثیر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل داشتند (جدول ۶).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر منابع کودی مختلف و زمان برداشت بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، شاخص کلروفیل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس مریم گلی

Table 3- Results of variance analysis (mean of squares) for the effect of different fertilizer sources and harvesting time on plant height, number of lateral branches, number of leaves, chlorophyll index, leaf dry weight, stem dry weight, dry matter yield, essential oil percentage and yield of *Salvia officinalis* L.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares								
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد برگ Number of leaves	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	عملکرد ماده خشک Dry matter yield	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield
بلوک Block	2	0.71^{ns}	1.38^{ns}	45177.3^{**}	24.99^{ns}	0.005^{ns}	0.61^{ns}	0.64^{ns}	0.11^{ns}	420.40^{ns}
کود Fertilizer (F)	7	858.6^{**}	167.21^{**}	684725.33^{**}	287.70^{**}	6.83^{**}	2.47^{*}	14.60^{**}	3.22^{**}	31826.06^{**}
خطای a Error a	14	9.96	2.24	6165.15	21.30	0.103	0.63	0.53	0.03	231.80
چین Harvesting time (H)	1	3844.9^{**}	1821.6^{**}	803418.75^{**}	329.17^{**}	12.20^{**}	13.97^{**}	0.08^{ns}	3.71^{**}	19764.08^{**}
کود × چین F× H	7	44.03^{**}	16.70^{**}	7366.36^{*}	19.02^{*}	0.16^{**}	2.32^{*}	1.01^{ns}	0.24^{**}	2423.53^{*}
خطای b Error b	16	7.3	2.7	2372.9	5.88	0.008	0.83	0.88	0.027	646.63
ضریب تغییرات CV (%)		4.38	7.05	5.06	4.71	3.75	21.62	14.04	10.19	21.43

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

**, * and ^{ns}: Are significant at 1 and 5% levels of probability and non-significant, respectively.

جدول ٤- مقایسات میانگین ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، شاخص کلروفیل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس مریم گلی تحت تأثیر منابع کودی مختلف

Table 4- Means comparisons of plant height, number of lateral branches, number of leaves, chlorophyll index, leaf dry weight, stem dry weight, dry matter yield, essential oil percentage and yield of *Salvia officinalis* L. influenced by different fertilizer resources

منابع مختلف کودی Different fertilizer sources	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد برگ Number of leaves	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	وزن خشک برگ Leaf dry weight ($ton.ha^{-1}$)	وزن خشک ساقه Stem dry weight ($ton.ha^{-1}$)	عملکرد ماده خشک Dry matter yield ($ton.ha^{-1}$)	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield ($kg.ha^{-1}$)
عدم مصرف کود No fertilizer	39.98	14.95	406.00	42.03	0.88	2.78	3.70	0.68	24.78
کشت خالص جو Barley monoculture	51.033	17.70	576.67	46.33	1.26	4.53	5.80	0.96	55.99
کشت خالص ماشک Vetch monoculture	64.76	25.25	1136.00	50.26	2.86	4.23	7.10	1.66	117.96
۷۵ درصد ماشک+ ۲۵ درصد جو 75% Vetch+ 25% barley	69.83	26.50	1210.67	53.63	3.13	4.45	7.71	2.19	166.82
۵۰ درصد ماشک+ ۵۰ درصد جو 50% Vetch+ 50% barley	75.48	29.55	1305.00	63.10	3.75	4.60	8.21	2.63	215.55
۲۵ درصد ماشک+ ۷۵ درصد جو 25% Vetch+ 75% barley	60.06	22.58	901.33	48.10	2.16	3.93	6.11	1.21	74.52
قارچ میکوریزا آرباسکولار Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	73.48	29.36	1302.67	59.26	3.66	4.85	8.51	2.48	214.42
ورمی‌کمپوست Vermicompost	58.65	21.38	853.67	48.88	1.96	4.43	6.40	1.20	79.14
$LSD_{0.05}$	3.908	1.853	97.22	5.715	0.398	0.987	0.902	0.243	18.85

جدول ۵- مقایسات میانگین ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، شاخص کلروفیل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، درصد و عملکرد اسانس مریم گلی تحت تأثیر زمان برداشت

Table 5- Means comparisons of plant height, number of lateral branches, number of leaves, Chlorophyll Index, leaf dry weight, stem dry weight, essential oil percentage and yield of *Salvia officinalis* L. influenced by harvesting time

زمان برداشت Harvesting time	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد برگ Number of leaves	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	وزن خشک برگ Leaf dry weight ($ton.ha^{-1}$)	وزن خشک ساقه Stem dry weight ($ton.ha^{-1}$)	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield ($kg.ha^{-1}$)
چین اول First harvesting	70.61	29.57	1090.88	54.07	2.96	4.76	1.90	138.94
چین دوم Second harvesting	52.71	17.25	832.13	48.83	1.95	3.68	1.35	98.36
$LSD_{0.05}$	1.653	1.01	29.81	1.484	0.056	0.559	0.101	15.56

جدول ٦ – برش‌دهی اثر متقابل (میانگین مربعات) منابع کودی مختلف در هر سطح زمان برداشت در ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، شاخص کلروفیل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، درصد و عملکرد اسانس مریم گلی

Table 6- Interaction effect slicing (mean of squares) of different fertilizer sourcesat each level of harvesting time in plant height, number of lateral branches, number of leaves, chlorophyll Index, leaf dry weight, stem dry weight, essential oil percentage and yield of *Salvia officinalis* L

زمان برداشت Harvesting time	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares							
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد برگ Number of leaves	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield
چین اول First harvesting	7	610.53^{**}	131.49^{**}	411741^{**}	180.31^{**}	4.34^{**}	1.96^{ns}	2.47^{**}	24308.0^{**}
چین دوم Second harvesting	7	292.13^{**}	52.43^{**}	280351^{**}	113.74^{**}	2.67^{**}	1.30^{ns}	1.00^{**}	9941.3^{**}

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

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

جدول ۷- مقایسات میانگین اثر متقابل منابع کودی مختلف بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، شاخص کلروفیل، وزن خشک برگ، درصد و عملکرد اسانس مریم گلی در هر سطح از زمان برداشت

Table 7- Means comparisons of interaction effects of different fertilizer resources on plant height, number of lateral branches, number of leaves, chlorophyll index, leaf dry weight, essential oil percentage and yield of *Salvia officinalis* L at each level of harvesting time

	تیمارها Treatments	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد برگ Number of leaves	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	وزن خشک برگ Leaf dry weight ($ton.ha^{-1}$)	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield ($kg.ha^{-1}$)
چین اول First harvesting	عدم مصرف کود No fertilizer	44.03	18.86	472.67	45.53	1.10	0.80	26.48
	کشت خالص جو Barley monoculture	58.13	21.86	688.33	49.66	1.70	1.003	61.93
	کشت خالص ماشک Vetch monoculture	76.26	33.43	1271.0	53.76	3.36	1.86	131.70
	۷۵ درصد ماشک+ ۲۵ درصد جو 75% Vetch+ 25% barley	78.83	34.90	1365.67	56.96	3.66	2.57	186.58
	۵۰ درصد ماشک+ ۵۰ درصد جو 50% Vetch+ 50% barley	84.66	36.56	1455.0	64.26	4.26	3.17	253.96
	۲۵ درصد ماشک+ ۷۵ درصد جو 25% Vetch+ 75% barley	69.90	28.86	1018.0	50.10	2.66	1.26	71.17
	قارچ میکوریزا آرباسکولار Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	86.40	35.26	1486.0	60.40	4.50	2.99	269.89
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	66.66	26.80	970.33	51.86	2.46	1.60	109.82
	$LSD_{0.05}$	4.135	3.36	112.7	4.56	0.41	0.368	36.15
چین دوم Second harvesting	عدم مصرف کود No fertilizer	35.93	11.03	339.33	38.53	0.66	0.56	23.09
	کشت خالص جو Barley monoculture	43.93	13.53	465.0	43.00	0.83	0.91	50.06
	کشت خالص ماشک Vetch monoculture	53.26	17.06	1001.0	46.76	2.36	1.46	104.23
	۷۵ درصد ماشک+ ۲۵ درصد جو 75% Vetch+ 25% barley	60.83	18.10	1055.67	50.30	2.60	1.81	147.08
	۵۰ درصد ماشک+ ۵۰ درصد جو 50% Vetch+ 50% barley	66.30	22.53	1155.0	61.93	3.23	2.10	177.14
	۲۵ درصد ماشک+ ۷۵ درصد جو 25% Vetch+ 75% barley	50.23	16.30	784.67	46.10	1.66	1.17	77.87
	قارچ میکوریزا آرباسکولار Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	60.56	23.46	1119.33	58.13	2.83	1.97	158.96
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	50.63	15.96	737.0	45.90	1.46	0.80	48.46
	$LSD_{0.05}$	5.89	2.245	108.2	7.69	0.412	0.221	20.63

در هر دو چین، بیشترین شاخص کلروفیل در تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد قارچ میکوریزا نداشت (جدول ۷). کاربرد ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌عنوان کود سبز منجر به افزایش ۵۰/۱ درصدی شاخص کلروفیل مریم‌گلی نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). علاوه‌براین، شاخص کلروفیل در چین اول ۱۰/۷ درصد بیشتر از چین دوم بود (جدول ۵). با توجه به اینکه هر مولکول کلروفیل دارای چهار اتم نیتروژن می‌باشد و با توجه به همبستگی مثبت کلروفیل با نیتروژن در دسترس گیاه (Varma et al., 2018) می‌توان بیان نمود با افزایش نیتروژن در دسترس از طریق کود سبز (جدول ۱۵)، شاخص کلروفیل گیاه افزایش پیدا کرده است. کاربرد کشت مخلوط ماشک پانونیکا (*Vicia panunica* L.) با جو به‌عنوان کود سبز باعث افزایش نیتروژن برگ و به دنبال آن افزایش شاخص کلروفیل نخود (*Cicer arietinum* L.) گردید (Ghalavand et al., 2009). همچنین، در پژوهشی با بررسی کودهای سبز شبدر قرمز (*Trifollium pretense* cv. Nemaro) و ماشک (*Vicia sativa* cv. Alexandros) بر تنباکو (*Nicotiana tabaccum*) گزارش شد که کاربرد این کودهای سبز به‌ترتیب به افزایش ۱۳۳/۶ و ۹۱/۱ درصدی شاخص کلروفیل نسبت به شاهد منجر شدند (Bilalis et al., 2009). علاوه‌براین، اثر قارچ میکوریزا بر افزایش شاخص کلروفیل، می‌تواند در ارتباط با بهبود جذب نیتروژن و افزایش نیتروژن برگ باشد، که سبب فراهمی پیش‌سازهای کلروفیل شده و از سوی دیگر، باعث افزایش پروتئین و اسیدهای آمینه به‌عنوان پیش‌سازهای اصلی ساختمان و فعالیت کلروپلاست (Supratim et al., 2018) می‌گردد. همچنین با توجه به اینکه بیان شده که قارچ‌های میکوریزا به افزایش جذب منیزیم در گیاه کمک می‌کند (Bijhani et al., 2015) پس از این طریق نیز می‌تواند سنتز کلروفیل را افزایش دهد. نتایج پژوهش ما با نتایج سلواراج و همکاران (Selvaraj et al., 2009) در روی گیاه *Pogostemon patchouli* مطابقت داشت.

وزن خشک برگ، ساقه و عملکرد ماده خشک

نتایج واریانس (جدول ۳) نشان داد که وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه تحت تأثیر معنی‌دار اثر منابع کودی، چین و اثر متقابل منابع کودی × چین قرار گرفتند. نتایج برش‌دهی اثر متقابل منابع کودی × چین نشان داد، منابع کودی مختلف تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک برگ در هر سطح از زمان برداشت داشتند. امّا برش‌دهی اثر متقابل بیانگر این بود که کاربرد منابع کودی مختلف تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ساقه در هر سطح از زمان برداشت نداشتند (جدول ۶). در هر دو چین بیشترین وزن خشک برگ با کاربرد تیمارهای میکوریزا و ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌دست آمد (جدول ۷). وزن خشک برگ مریم‌گلی با کاربرد قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌ترتیب ۳۱۵/۹ و ۳۲۶/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۴). علاوه‌براین، وزن خشک برگ و ساقه در چین اول به‌ترتیب ۵۱/۸ و ۲۹/۳ درصد نسبت به چین دوم افزایش پیدا کردند (جدول ۵).

علاوه‌براین، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد ماده خشک مریم‌گلی فقط تحت تأثیر معنی‌دار تیمارهای کودی مختلف در سطح احتمال یک درصد واقع شد (جدول ۳). بیشترین عملکرد ماده خشک مریم‌گلی (۸/۵۱ تن در هکتار) با کاربرد قارچ میکوریزا به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو نداشت (جدول ۴). از آنجایی که بیشترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ و شاخص کلروفیل با کاربرد ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و قارچ میکوریزا حاصل شد، بنابراین به تبع آن وزن خشک برگ، ساقه و عملکرد ماده خشک افزایش پیدا کرد. در پژوهشی با کاربرد کود سبز لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L. Walp.) روی نعناع وحشی گزارش شد که کود سبز منجر به افزایش ۲۰/۶ درصدی عملکرد تر نسبت به شاهد گردید (Singh et al., 2010). در مطالعه دیگری هم با ارزیابی اثر کود دامی و کودهای سبز شنبلیله (*Trigonell afoenum-graceum* L.)، شبدر برسیم (*Trifolium alexandrinum* L.) و ماشک گل‌خوشه‌ای بر کمیت و کیفیت کنجد (*Sesamum indicum* L.) گزارش شد که بیشترین عملکرد وزن خشک کل با کاربرد کود سبز شنبلیله به‌دست آمد که منجر به افزایش ۳۴/۳ درصد عملکرد نسبت به شاهد گردید (Jalilian et al., 2021).

درصد و عملکرد اسانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که درصد و عملکرد اسانس تحت تأثیر اثرات منابع کودی، چین و اثر متقابل منابع کودی

× چین قرار گرفتند (جدول ۳). بر اساس نتایج برش‌دهی اثر متقابل، کاربرد منابع کودی مختلف در هر دو چین تأثیر معنی‌داری بر درصد و عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۶). بیشترین درصد و عملکرد اسانس در هر دو چین در تیمارهای ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و کاربرد قارچ میکوریزا حاصل شد (جدول ۷). همچنین در چین اول درصد و عملکرد اسانس به‌ترتیب ۴۰/۴ و ۴۱/۳ درصد نسبت به چین دوم بیشتر بود (جدول ۵). اسانس‌ها ترکیب‌های ترپنوئیدی بوده و واحدهای سازنده آن‌ها (ایزوپرنوئیدها) مانند ایزوپنتنیل پیروفسفات و دی متیل آلیل پیروفسفات، نیاز به ترکیباتی از قبیل ATP و NADPH دارند. با توجه به اینکه عناصری نظیر نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیب های نام‌برده ضروری می‌باشد (Ormeno & Fernandez, 2012)، لذا کود سبز احتمالاً با آزادسازی تدریجی نیتروژن به‌طور پیوسته نیتروژن مورد نیاز گیاه را تأمین و از این طریق با افزایش کلروفیل، فعالیت آنزیم روبیسکو و به دنبال آن فعالیت‌های فتوسنتزی و میزان اسانس (Meena et al., 2018) مریم‌گلی افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه در این پژوهش بیشترین میزان نیتروژن و فسفر خاک با کاربرد کود سبز ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو حاصل شد (جدول ۱۵)، بنابراین افزایش درصد و عملکرد اسانس مریم‌گلی در این تیمار قابل توجیه می‌باشد. در پژوهشی با کاربرد یونجه و چاودار به‌عنوان کود سبز، افزایش ۹۳/۳ و ۱۳۵/۱ درصدی اسانس و عملکرد اسانس نعناع‌فلفلی مشاهده شد (Bidgoli & Mahdavi, 2018). همچنین بهبود اسانس مریم‌گلی با کاربرد قارچ میکوریزا به افزایش فعالیت فتوسنتزی و غدد تشکیل دهنده اسانس بر اثر افزایش سطح جذب و دسترسی به عناصر غذایی نسبت داده می‌شود. به نظر می‌رسد، همزیستی ریشه مریم‌گلی با قارچ میکوریزا از طریق فراهمی عناصر اصلی سازنده اسانس از جمله نیتروژن، فسفر (جدول ۱۵) (Sharifi-Rad et al., 2017) موجب افزایش درصد و عملکرد اسانس مریم گلی شده است. رابطه مستقیم بین قارچ میکوریزا و تغییرات کمّی و کیفی در تولید اسانس بسیاری از گیاهان دارویی و معطر وجود دارد. به‌طوری‌که، تغییرات کمّی و کیفی اسانس در ریحان و نعناع‌فلفلی با کاربرد قارچ میکوریزا گزارش شده است (Mucciarelli et al., 2003; Copetta et al., 2006). قارچ‌های میکوریزا باعث ایجاد تغییراتی در غلظت فیتوهورمون‌های سیتوکینین، ژیبرلیک اسید و جاسمونیک اسید می‌شود که این فیتوهورمون‌ها، تشکیل غده‌های ترشح‌کننده اسانس را بیشتر نموده و در نتیجه، سبب تولید بیشتر متابولیت‌های ثانویه می‌شوند (Kapoor et al., 2017). کمتر بودن میزان اسانس در چین دوم نسبت به چین اول را می‌توان به کوتاه بودن طول روز در چین دوم نسبت داد که تأثیر منفی بر غدد تشکیل دهنده اسانس و میزان اسانس تولید شده خواهد داشت (Aflatuni et al., 2006). تولید اسانس و به تبع آن تولید ترکیبات ترپنی در گیاهان دارویی تحت تأثیر منفی دماهای پایین و بارندگی قرار می‌گیرد. به طوری‌که بارندگی و کاهش دما در طی دوره رشد گیاه دارویی اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* L.) منجر به کاهش اسانس شد که دلیل آن را به تخریب غدد ترشحی اسانس و کاهش اندازه آن‌ها نسبت دادند (Hassiotis et al., 2014). همچنین طبق نظر ورما و همکاران (Verma et al., 2015) فصل رشد و اندام گیاه به‌عنوان دو فاکتور اساسی تعیین‌کننده درصد و ترکیبات اسانس مریم‌گلی محسوب می‌شوند. به‌طوری‌که، بیشترین اسانس مریم‌گلی را به‌ترتیب در تابستان (۰/۴۳ درصد)، فصول بارانی (۰/۳۱ درصد)، بهار (۰/۲۵ درصد) و پاییز (۰/۲۲ درصد) مشاهده کردند.

ترکیبات اسانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس ترکیبات اسانس مریم‌گلی حاکی از آن بود که اثر منابع کودی مختلف بر ترکیبات اسانس مریم‌گلی به استثنای ای‌کاریوفیلین معنی‌دار بود. ولی اثر چین فقط بر ترکیبات ۱و ۸ –سینئول، کامفور، ویریدیفلورول و مانول معنی‌دار بود. علاوه‌براین، اکثر ترکیبات اسانس به‌استثنای ترنس توجن تحت تأثیر ترکیب تیماری منابع کودی و چین قرار گرفتند (جدول ۸). نتایج برش‌دهی اثر متقابل نشان داد که منابع کودی مختلف در هر سطح از زمان برداشت تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر ترکیب سیس- توجن داشتند (جدول ۱۱). بیشترین میزان سیس-توجن در هر دو چین با کاربرد تیمار کود سبز ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو حاصل شد (جدول ۱۲). به‌طوری که با کاربرد کود سبز ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو، سیس-توجن ۱۴/۲ درصد نسبت به عدم مصرف هر گونه کود آلی و زیستی افزایش پیدا کرد (جدول ۹). همچنین بر اساس نتایج حاصل از برش‌دهی، اثر سطوح مختلف منابع کودی در هر دو چین بر ترکیب ۱و۸ سینئول در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد (جدول ۱۱). بیشترین میزان ۱و۸ سینئول در چین اول و دوم به‌ترتیب در تیمارهای قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد

ماشک + ۵۰ درصد جو به‌دست آمد (جدول ۱۲).

علاوه‌براین، نتایج برش‌دهی نشان داد که منابع کودی در هر سطح از زمان برداشت تأثیر معنی‌داری بر ترکیب کامفور داشتند (جدول ۱۱). در چین اول بیشترین میزان کامفور (۲۰/۳۹ درصد) در تیمار کود سبز ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو حاصل شد. امّا در چین دوم بیشترین میزان کامفور به تیمار کود سبز ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو تعلق داشت (جدول ۱۲).

بر اساس نتایج برش‌دهی منابع کودی × چین، کاربرد تیمارهای کودی در هر سطح از زمان برداشت تأثیر معنی‌داری بر ترکیب ای-کاریوفیلین داشتند (جدول ۱۱). در چین اول بیشترین میزان ای-کاریوفیلین در تیمارهای ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو و قارچ میکوریزا به‌دست آمد. ولی در چین دوم بیشترین میزان این ترکیب به تیمار کود سبز ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو تعلق داشت (جدول ۱۲).

علاوه‌براین، بیشترین میزان ترنس- توجن در ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌دست آمد که تفاوت آن فقط با کاربرد قارچ میکوریزا و ورمی‌کمپوست معنی‌دار بود (جدول ۹).

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر منابع کودی مختلف و زمان برداشت بر ترکیبات اسانس (۱ و ۸ سینئول، سیس توجن، ترنس توجن، کامفور، ای‌کاریوفیلین، آلفا هیومولین، ویریدیفلورول و مانول) مریم گلی

Table 8- Results of variance analysis (mean of squares) for the effect of different fertilizer sources and harvesting time on essential oil component (1,8-Cineole, *cis*-Thujone, *trans*-Thujone, Camphor, (*E*)-Caryophyllene, *α*- Humulene, Viridiflorol and Manool) of *Salvia officinalis* L.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares							
		۱ و ۸ سینئول 1,8-Cineole	سیس توجن *cis*-Thujone	ترنس توجن *trans*-Thujone	کامفور Camphor	ای کاریوفیلین (*E*)-Caryophyllene	آلفا هیومولین *α*- Humulene	ویریدیفلورول Viridiflorol	مانول Manool
بلوک Block	2	24.68**	339.15**	4.66**	10.08*	5.31**	1.05ns	0.26ns	5.50*
کود Fertilizer (F)	7	5.97 *	31.20 **	1.79 *	12.81**	1.11 ns	6.58 **	2.46 **	9.72 **
خطای a Error a	14	1.98	5.78	0.45	2.06	0.58	1.15	0.49	1.11
چین Harvesting time (H)	1	7.72**	15.98 ns	2.75 ns	37.80 *	0.31ns	0.49 ns	1.45 **	4.47 *
کود × چین F× H	7	2.84**	11.38 *	1.49 ns	27.17 **	3.82 **	1.17 **	1.53 **	2.28 *
خطای b Error b	16	0.64	4.08	1.12	5.39	0.26	0.19	0.12	0.59
ضریب تغییرات CV (%)		7.41	6.8	20.81	15.83	12.74	8.87	7.33	29.84

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

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

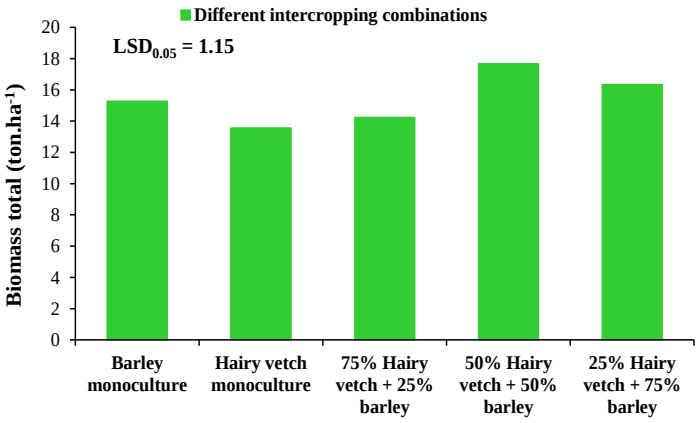
همچنین، برش‌دهی اثر متقابل مشخص کرد که منابع کودی مختلف در هر سطح از زمان برداشت تأثیر معنی‌داری بر ترکیب‌های آلفا هیومولین، ویریدیفلورول و مانول در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۱۱). بیشترین میزان آلفا هیومولین در هر دو چین در تیمار کود سبز جو حاصل شد (جدول ۱۲). به‌طوری‌که با کاربرد کود سبز جو، ترکیب آلفا هیومولین ۵۱/۸ درصد نسبت به عدم مصرف هر

گونه کود آلی و زیستی افزایش پیدا کرد (جدول ۹). علاوه‌براین، در چین اول بیشترین میزان ترکیب ویریدیفلورول با کاربرد قارچ میکوریزا به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو و کشت خالص ماشک نداشت (جدول ۱۲). همچنین در هر دو چین، بیشترین میزان مانول در تیمار کود سبز ماشک به‌دست آمد (جدول ۱۲). به‌طوری که با کاربرد کود سبز ماشک، مانول۲۷/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۹). به‌طور کلی، ترکیبات اسانس تحت تأثیر فاکتورهای محیطی مثل طول روز، دما، روشنایی و فاکتورهای زراعی مثل تیمارهای غذایی، آبی و غیره قرار می‌گیرند که می‌توانند تغییراتی را در نوع و مقدار ترکیبات اسانس به‌وجود آورند (Verma et al., 2015; Zheljazkov et al., 2009). علاوه‌براین، اگرچه متابولیت‌های ثانویه توسط ژنوتیپ‌های گیاهی کنترل می‌شوند، امّا بیوسنتز آن‌ها به‌شدت توسط عوامل محیطی کنترل می‌شوند (Morshedloo et al., 2017). به‌طوری‌که قارچ میکوریزا ازطریق جذب کارآمد فسفر و نیتروژن توسط ریشه گیاه میزبان، می‌تواند موجب افزایش بعضی از ترکیبات اسانس و به تبع آن درصد اسانس گردد. در پژوهشی با بررسی تراکم کاشت و زمان برداشت (فروردین، خرداد و مهر) روی مریم‌گلی گزارش شد که بیشترین میزان سیس- توجن در برداشت مهر به‌دست آمد و علت آن را این گونه بیان کرده اند که دماهای پایین و طول روز کوتاه‌تر باعث تحریک و تجمع بیشتر سیس- توجن شد (Piccaglia et al., 1997). نتایج پژوهش با نتایج وو و همکاران (Wu et al., 2021) در گونه‌ای از مریم‌گلی و سینگ و همکاران (Singh et al., 2010) در نعناع وحشی مطابقت داشت. از آنجایی که ترکیبات اصلی اسانس مریم‌گلی را مونوترپن‌های اکسیژنه (۱و۸ سینئول، سیس- توجن، ترنس- توجن و کامفور) تشکیل داده و بیشترین میزان این ترکیبات در تیمارهای کود سبز ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو حاصل شدند. لذا به نظر می‌رسد، این کودهای سبز با آزادسازی بیشتر نیتروژن و فسفر (جدول ۱۵) به بهبود کیفیت اسانس مریم‌گلی منجر گردند (Santos Marques et al., 2018).

جدول ۹- مقایسات میانگین ترکیبات اسانس (۱ و ۸ سینئول، سیس توجن، ترنس توجن، کامفور، آلفا هیومولین، ویریدیفلورول و مانول) مریم گلی تحت تأثیر منابع کودی مختلف

Table 9- Means comparisons of essential oil component (1,8-Cineole, *cis*-Thujone, *trans*-Thujone, Camphor, *α*- Humulene, Viridiflorol and Manool) of *Salvia officinalis* L. influenced by different fertilizer resources

منابع مختلف کودی Different fertilizer sources	۱ و ۸ سینئول 1,8-Cineole	سیس توجن *cis*-Thujone	ترنس توجن *trans*-Thujone	کامفور Camphor	آلفا هیومولین *α*- Humulene	ویریدیفلورول Viridiflorol	مانول Manool
عدم مصرف کود No fertilizer	10.23	27.54	5.00	15.40	4.44	4.21	3.65
کشت خالص جو Barley monoculture	11.67	30.78	5.06	14.35	6.74	4.01	1.39
کشت خالص ماشک Vetch monoculture	11.36	27.07	5.80	13.64	4.69	5.25	4.66
۷۵ درصد ماشک+ ۲۵ درصد جو 75% Vetch+ 25% barley	9.50	29.64	5.23	16.57	5.89	5.25	1.63
۵۰ درصد ماشک+ ۵۰ درصد جو 50% Vetch+ 50% barley	12.23	33.58	5.71	13.68	3.78	4.84	0.84
۲۵ درصد ماشک+ ۷۵ درصد جو 25% Vetch+ 75% barley	9.54	27.84	5.12	16.86	5.22	5.70	2.33
قارچ میکوریزا آرباسکولار Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	11.32	31.90	4.07	12.85	5.48	5.60	3.04
ورمی‌کمپوست Vermicompost	10.72	29.17	4.74	13.94	3.71	4.41	3.07
$LSD_{0.05}$	1.742	2.979	0.833	1.778	1.33	0.872	1.305



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر ترکیب‌های کشت مخلوط بر مجموع زیست‌توده برگشتی به خاک

Fig. 2- Means comparison effect of intercropping combinations on biomass total incorporated into the soil

جدول ۱۰- مقایسات میانگین ترکیبات اسانس (۱ و ۸ سینئول، کامفور، ویریدیفلورول و مانول) مریم گلی تحت تأثیر زمان برداشت

Table 10- Means comparisons of essential oil components (1,8-Cineole, Camphor, Viridiflorol, and Manool) of *Salvia officinalis* L. influenced by harvesting time

زمان برداشت Harvesting time	۱و۸ سینئول 1,8-Cineole	کامفور Camphor	ویریدیفلورول Viridiflorol	مانول Manool
چین اول First harvesting	10.42	15.55	4.73	2.27
چین دوم Second harvesting	11.22	13.77	5.08	2.88
LSD $_{0.05}$	0.491	1.421	0.220	0.470

جدول ۱۱ – برش‌دهی اثر متقابل (میانگین مربعات) منابع کودی مختلف در هر سطح از زمان برداشت در ترکیبات اسانس (۱و۸ سینئول، سیس توجن، کامفور ای‌کاریوفیلین، آلفا هیومولین، ویریدیفلورول و مانول) مریم گلی

Table 11- Interaction effect slicing (mean of squares) of different fertilizer sources at each level of harvesting time in essential oil component (1,8-Cineole, *cis*-Thujone, Camphor, (*E*)-Caryophyllene, *α*- Humulene, Viridiflorol and Manool) of *Salvia officinalis* L.

زمان برداشت Harvesting time	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares						
		۱و۸ سینئول 1,8-Cineole	سیس توجن *cis*-Thujone	کامفور Camphor	ای‌کاریوفیلین (*E*)-Caryophyllene	آلفا هیومولین *α*- Humulene	ویریدیفلورول Viridiflorol	مانول Manool
چین اول First harvesting	7	5.31**	30.21**	30.95**	2.57**	5.28**	2.81**	4.19**
چین دوم Second harvesting	7	3.51**	12.38*	9.03*	2.36**	2.48**	1.19**	7.82**

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

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

جدول ۱۲- مقایسات میانگین اثر متقابل منابع کودی مختلف بر ترکیبات اسانس (۱و۸ سینئول، سیس توجن، کامفور، ای‌کاریوفیلین، آلفا هیومولین، ویریدیفلورول و مانول) مریم گلی در هر سطح از زمان برداشت

Table 12- Means comparisons of interaction effects of different fertilizer resources on essential oil component (1,8-Cineole, cis-Thujone, Camphor, (*E*)-Caryophyllene, *α*- Humulene, Viridiflorol, and Manool) of *Salvia officinalis* L at each level of harvesting time

	تیمارها Treatments	۱و۸ سینئول 1,8-Cineole	سیس توجن *cis*-Thujone	کامفور Camphor	ای کاریوفیلین (*E*)-Caryophyllene	آلفا هیومولین *α*- Humulene	ویریدیفلورول Viridiflorol	مانول Manool
چین اول First harvesting	عدم مصرف کود No fertilizer	8.80	27.38	18.22	4.1	4.26	3.08	2.80
	کشت خالص جو Barley monoculture	11.4	31.4	13.4	3.45	7.20	4.36	1.78
	کشت خالص ماشک Vetch monoculture	10.8	25.75	15.9	2.21	4.98	5.4	4.31
	۷۵ درصد ماشک+ ۲۵ درصد جو 75% vetch+ 25% barley	9.39	28.86	17.4	4.55	5.75	4.8	1.87
	۵۰ درصد ماشک+ ۵۰ درصد جو 50% vetch+ 50% barley	11.72	33.35	15.6	3.27	2.76	4.59	0.55
	۲۵ درصد ماشک+ ۷۵ درصد جو 25% vetch+ 75% barley	8.99	24.27	20.39	4.97	5.1	5.80	1.71
	قارچ میکوریزا آرباسکولار Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	12.31	32.12	10.20	4.86	5.24	5.94	1.71
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	9.94	29.75	13.3	4.08	3.82	3.91	3.43
	LSD $_{0.05}$	1.88	4.2	4.04	1.23	1.17	1.01	1.33
چین دوم Second harvesting	عدم مصرف کود No fertilizer	11.7	27.70	12.6	4.27	4.61	5.3	4.49
	کشت خالص جو Barley monoculture	11.9	30.1	15.3	4.62	6.28	3.66	1.00
	کشت خالص ماشک Vetch monoculture	11.95	28.39	11.38	4.39	4.4	5.14	5.01
	۷۵ درصد ماشک+ ۲۵ درصد جو 75% vetch+ 25% barley	9.62	30.4	15.7	3.60	6.03	5.69	1.39
	۵۰ درصد ماشک+ ۵۰ درصد جو 50% vetch+ 50% barley	12.74	33.81	11.79	5.17	4.8	5.07	1.12
	۲۵ درصد ماشک+ ۷۵ درصد جو 25% vetch+ 75% barley	10.1	31.4	13.3	4.44	5.3	5.59	2.95
	قارچ میکوریزا آرباسکولار Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	10.3	31.7	15.5	2.20	5.7	5.25	4.37
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	11.5	28.6	14.6	4.06	3.60	4.9	2.71
	LSD $_{0.05}$	1.95	2.54	2.98	0.86	1.67	0.968	1.61

جدول ۱۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر ترکیب‌های کشت مخلوط بر مجموع زیست‌توده برگشتی به خاک

Table 13- Results of variance analysis (mean of squares) for the effect of intercropping combinations on biomass total of incorporated into soil

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares مجموع زیست‌توده برگشتی به خاک Biomass total incorporated into the soil
بلوک Block	2	2.03
ترکیب‌های کشت مخلوط Intercropping combinations	4	8.06 **
خطا Error	8	0.373
ضریب تغییرات CV (%)		3.96

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

**: Significant at 1 % levels of probability.

جدول ۱٤ - نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر منابع کودی مختلف بر خصوصیات شیمیایی خاک محل آزمایش پس از اعمال تیمارها

Table 14- Results of variance analysis (mean of squares) for the effect of different fertilizer sources on soil chemical properties of the experimental site after application of treatments

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares کربن آلی Organic C (%)	شاخص واکنش pH	فسفر قابل جذب Available P ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total N (%)	مقدار پتاسیم تبادلی Amount of exchangeable K ($mg.kg^{-1}$)
بلوک Block	2	0.001	0.096	0.006	0.0004	544.50
ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط Different intercropping ratio	7	0.071**	0.453**	146.46**	0.0048**	41300.02**
خطا Error	14	0.002	0.020	2.545	0.0003	885.83
ضریب تغییرات CV (%)		4.59	1.89	7.51	13.06	4.68

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

**: Are Significant at 1 % levels of probability.

برخی خصوصیات خاک پس از برگرداندن کود سبز

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، کربن آلی، شاخص واکنش، فسفر قابل جذب، نیتروژن کل و مقدار پتاسیم تبادلی خاک تحت تأثیر معنی‌دار منابع کودی مختلف در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جدول ۱۴). بیشترین کربن آلی خاک در تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با کشت خالص ماشک و ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو نداشت (جدول ۱۵). علاوه‌براین، بیشترین شاخص واکنش خاک در تیمار ورمی‌کمپوست حاصل شد. بیشترین (۳۴/۲ میلی‌گرم کیلوگرم) و کمترین (۱۰/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) فسفر قابل جذب نیز به‌ترتیب در تیمارهای ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و عدم مصرف کود به‌دست آمد. همچنین، بیشترین نیتروژن کل و پتاسیم تبادلی نیز در تیمار ۵۰ درصد ماشک +۵۰ درصد جو مشاهده شد (جدول ۱۵). با برگردان کود سبز به خاک فرآیندهای میکروبیولوژیکی و آزادسازی عناصر غذایی در خاک افزایش می‌یابد که از این طریق منجر به بهبود خصوصیات خاک از جمله ماده آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب می‌گردد. نیتروژن تثبیت شده توسط لگوم‌ها نیتروژن خاک را افزایش داده و از این طریق، با افزایش فعالیت میکروبی، باعث تسریع در تجزیه بقایای گیاهی می‌گردد (Meena et Amede et al., 2021 ; al., 2018). در پژوهشی با ارزیابی اثرات کودهای سبز ماشک

معمولی (*Vicia sativa* L.)، لوپین (*Lupinus polyphyllus* L.) و *Lablab purpureus* L. روی خصوصیات خاک گزارش شد که کود سبز منجر به بهبود کربن آلی خاک، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب نسبت به شاهد گردید (Amede et al., 2021). همچنین در پژوهشی دیگر با ارزیابی شش واریته (Minzi No.6, Ningbodaqiao, Wanzi No.1, Xiangzi No.1, Yijiangzi و Yujiangdaye) گون چینی (*Astragalus sinicus* L.)، ماشک گل خوشه‌ای، ماشک معمولی و چاودار به‌عنوان کود سبز گزارش شد که همه گونه‌های لگوم منجر به دسترسی بیشتر فسفر و پتاسیم در خاک نسبت به چاودار شدند (Solangi et al., 2019).

جدول ۱۵- مقایسات میانگین اثر منابع مختلف کودی بر خصوصیات شیمیایی خاک بعد از اعمال تیمارها

Table 15- Mean comparisons for the effect of different fertilizer sources on soil chemical properties after application of treatments

منابع کودی مختلف Different fertilizer sources	کربن آلی Organic C (%)	شاخص واکنش pH	فسفر قابل جذب Available P ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total N (%)	مقدار پتاسیم تبادلی Amount of exchangeable K ($mg.kg^{-1}$)
عدم مصرف کود No fertilizer	0.48	7.2	10.3	0.07	505
کشت خالص جو Barley monoculture	0.88	7.07	15.1	0.08	509
کشت خالص ماشک Vetch monoculture	0.92	7.48	21.5	0.12	633
۷۵ درصد ماشک+ ۲۵ درصد جو 75% Vetch+ 25% barley	0.94	7.51	23.4	0.14	707
۵۰ درصد ماشک+ ۵۰ درصد جو 50% Vetch+ 50% barley	0.97	7.97	34.2	0.19	853
۲۵ درصد ماشک+ ۷۵ درصد جو 25% Vetch+ 75% barley	0.82	7.24	19.8	0.11	549
قارچ میکوریزا Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	0.90	7.14	24.3	0.17	694
ورمی‌کمپوست Vermicompost	0.85	8.05	21.3	0.12	635
$LSD_{0.05}$	0.07	0.25	2.79	0.03	52.12

در پژوهشی با بررسی تأثیر کودهای سبز کنف آفتابی (*Crotalaria juncea* L.)، لوبیا مخملی (*Mucuna aterrima* Holland)، لوبیا چشم بلبلی و گیاهان خودرو روی کمیت و کیفیت اسانس به‌لیمو (*Lippia alba* Mill.) گزارش شد، کاربرد کود سبز لوبیا مخملی منجر به افزایش ۱/۳، ۴/۲ و ۶/۶ درصدی ترکیبات بتا-میرسین، لیمونن و کارون نسبت به شاهد گردید (Santos Marques et al., 2018). بیشتر بودن میزان ترکیبات غالب اسانس در چین دوم ممکن است به‌دلیل در دسترس قرار گرفتن عناصر غذایی بیشتر کود سبز و بهبود شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک باشد، زیرا اثرات کودهای سبز در درازمدت قابل مشاهده می‌باشد (Silva et al., 2007).

مجموع زیست‌توده دو گیاه به‌عنوان کود سبز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مجموع زیست‌توده برگشتی به خاک دو گیاه تحت تأثیر معنی‌دار ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط به‌عنوان کود سبز قرار گرفت (جدول ۱۳). بیشترین (۱۷/۷ تن در هکتار) و کمترین (۱۳/۶تن در هکتار) زیست‌توده برگشتی به خاک به‌ترتیب در کود سبز ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و کشت خالص ماشک به‌دست آمد (شکل ۲).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد بیشترین میزان مجموع زیست‌توده برگشتی به خاک در ترکیب ۵۰ درصد ماشک +۵۰ درصد جو به‌دست آمد. علاوه‌براین، کرت‌های تیمار شده با کود سبز و قارچ میکوریزا با تعدیل خصوصیات شیمیایی خاک منجر به بهبود صفات موفولوژیک و کمیت و کیفیت اسانس مریم‌گلی گردید. با توجه به شاخص‌های کمّی و کیفی مورد مطالعه می‌توان تیمارهای ۵۰ درصد

ماشک + ۵۰ درصد جو و قارچ میکوریزا را بـه‌عنـوان یـک اسـتراتژی کارآمد و دوست‌دار محیط زیست برای کشت مریم‌گلی پیشنهاد نمود.

References

1. Adams, R.P. (2007). *Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry*. Allured Publishing Corporation: Carol Stream, IL, USA. 804 pp.
2. Adekiya, A.O., Agbede, T.M., Aboyeji, C.M., Dunsin, O., & Ugbe, J.O. (2019). Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *18*(2), 218-223. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.05.005
3. Aflatuni, A., Sari, E.K.J.U., & Hohtola, A. (2006). Optimum harvesting time of four Mentha species in Northern Finland. *Journal of Essential Oil Research*, *18*(2), 134-138. https://doi.org/10.1080/10412905.2006.9699043
4. Amede, T., Legesse, G., Agegnehu, G., Gashaw, T., Degefu, T., Desta, G., Mekonnen, K., Schulz, S., & Thorne, P. (2021). Short term fallow and partitioning effects of green manures on wheat systems in East African highlands. *Field Crops Research*, *269*, 1-16. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108175
5. Amani 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
6. Amiri, M.B., Rezvani Moghaddam, P., Jahan, M., Salehabadi, M., & Naseri, N. (2017). Effects of plant density and different organic and chemical fertilizers on some phytochemical characteristics of Iranian ox-tongue (*Echium amoenum* Fisch. & Mey.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *33*(4), 649-662. (In Persian with English Summary)
7. Bidgoli, R.D., & Mahdavi, M.J. (2018). Effect of nitrogen and two types of green manure on the changes in percentage and yield of peppermint (*Mentha piperita*) essential oil. *Notulae Scientia Biologicae*, *10*(2), 245-250. https://doi.org/10.15835/nsb10210275
8. Bigonah, R., Rezvani Moghaddam, P., & Jahan, M. (2014). Effects of different fertilizer managements on quantitative and qualitative characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) as a medicinal plant. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(4), 574-581. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/GSC.V12I4.45140
9. Bilalis, D., Karkanis, A., Efthimiadou, A., Konstantas, A., & Triantafyllidis, V. (2009). Effects of irrigation system and green manure on yield and nicotine content of Virginia (flue-cured) Organic tobacco (*Nicotiana tabaccum*), under Mediterranean conditions. *Industrial Crops and Products*, *29*(2-3), 388-394. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.07.007
10. Bijhani, M., Yadollahi, P., Asgharipour, M.R., & Heydari, M. (2015). The effect of mycorrhizal inoculation of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) on its yield and some physiological characteristics under drought conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, *9*(3), 337-352. (In Persian with English Summary).
11. Copetta, A., Lingua, G., & Berta, G. (2006). Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. *Mycorrhiza*, *16*, 485–494. https://doi.org/10.1007/s00572-006-0065-6
12. El-Haddad, M.H., Zayed, M.S., El-Sayed, G.A.M., & Abd El-Satar, A.M. (2020). Efficiency of compost and vermicompost in supporting the growth and chemical constituents of *Salvia officinalis* L. cultivated in sand soil. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, *9*, 49-59. https://doi.org/10.30486/ijrowa.2020.671209
13. Fadaee, E., Parvizi, Y., Gerdakane, M., & Khan-Ahmadi, M. (2018). The effects of mycorhiza (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradiceae*) and phosphorus on growth and phytochemical traits of *Dracocephalum moldavica* L. under drought stress. *Journal of Medicinal Plants*, *2*(66), 100-112. (In Persian with English Summary).
14. Gao, S., Zhou, G., Rees, R.M., & Cao, W. (2020). Green manuring inhibits nitrification in a typical paddy soil by changing the contributions of ammonia-oxidizing archaea and bacteria. *Applied Soil Ecology*, *156*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103698
15. Gashgari, R., Selim, S., Abdel-Mawgoud, M., Warrad, M., Habeeb, T.H., Saleh, A.M., & AbdElgawad, H. (2020). Arbuscular mycorrhizae induce a global metabolic change and improve the nutritional and health benefits of

pennyroyal and parsley. *Acta Physiologiae Plantarum*, *42*, 1–11. https://doi.org/10.1007/s11738-020-03091-3

16. Ghalavand, A., Mohammadi, K., Agha Alikhani, M., & Sohrabi, Y. (2009). Effect of organic, biological and chemical fertilizers on chickpea grain yield and quality. *Journal of Water and Soil Sciences*, *19*(2), 213-234. (In Persian with English Summary).
17. Gheidarlouei, S., Khademian, R., & Mafakheri, S. (2020). Response of *Anethum graveolens* L. to mycorrhiza symbiosis at different salinity levels. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *36*(2), 329-347. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.341416.2691
18. Govahi, M., Ghalavand, A., Nadjaf, F., & Sorooshzadeh, A. (2017). Comparing different soil fertility systems on some physiological characteristics, yield and essential oil of sage (*Salvia officinalis* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, *9*(2), 445-457. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/JAG.V9I2.45974
19. Gupta, M.L., Prasad, A., Ram, M., & Kumar, S. (2004). Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus glomus fasciculatum on the essential oil yield-related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technolohy*, *81*, 77–79. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00109-2
20. Hassiotis, C.N., Ntana, F., Lazari, D.M., Poulios, S., & Vlachonasios, K.E. (2014). Environmental and developmental factors affect essential oil production and quality of *Lavandula angustifolia* during flowering period. *Industrial Crops and Products*, *62*, 359-366. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.048
21. Jalilian, S., Mondani, F., Fatemi, G.A., & Bagheri, A. (2021). Effect of farmyard manure and green manure application on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) under organic conditions. *Applied Research in Field Crops*, *33*(4), 62-86. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22092/AJ.2021.341662.1451
22. Khalvandia, M., Ameriana, M.R., Pirdashtib, H., Keramatib, S., & Hosseinic, J. (2019). Essential oil of peppermint in symbiotic relationship with *Piriformospora indica* and methyl jasmonate application under saline condition. *Industrial Crops and Products*, *127*, 195-202. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.072
23. Kapoor, R., Chaudhary, V., & Bhatnagar, A.K. (2007). Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. *Mycorrhiza*, *17*, 581–587. https://doi.org/10.1007/s00572-007-0135-4
24. Kapoor, R., Anand, G., Gupta, P., & Mandal, S. (2017). Insight into the mechanisms of enhanced production of valuable terpenoids by arbuscular mycorrhiza. *Phytochemistry Reviews*, *16*(4), 677-692. https://doi.org/10.1007/s11101-016-9486-9
25. Ludwig-Müller, J. (2010). *Hormonal responses in host plants triggered by arbuscular mycorrhizal fungi*. In H. Koltai, & Y. Kapulnik (Eds.). Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Springer, Dordrecht, p. 169–190. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9489-6_8
26. Meena, B.L., Fagodiya, R.K., Prajapat, K., Dotaniya, M.L., Kaledhonkar, M.J., Sharma, P.C., Meena, R.S., Mitran, T., & Kumar, S. (2018). *Legume green manuring: An option for soil sustainability*. In R.S. Meena, A. Das, G. S. Yadav, & R. Lal (Eds.). Legumes for Soil Health and Sustainable Management. Springer., Singapore, p. 387-408. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0253-4_12
27. Modafe Behzadi, N., Moghaddam, P.R., & Jahan, M. (2019). Effects of planting date and plant density on morphology and yield of indigo (*Indigofera tinctoria* L.) as a medicinal plant. *Journal of Agroecology*, *10*(4), 1067-1079. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/JAG.V10I4.48405
28. Morshedloo, M.R., Craker, L.E., Salami, A., Nazeri, V., Sang, H., & Maggi, F. (2017). Effect of prolonged water stress on essential oil content, compositions and gene expression patterns of mono-and sesquiterpene synthesis in two oregano (*Origanum vulgare* L.) subspecies. *Plant Physiology and Biochemistry*, *111*, 119-128. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.11.023
29. Morshedloo, M.R., Maggi, F., Neko, H.T., & Aghdam, M.S. (2018). Sumac (*Rhus coriaria* L.) fruit: Essential oil variability in Iranian populations. *Industrial Crops and Products*, *111*, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.002
30. Mucciarelli, M., Scannerini, S., Bertea, C., & Maffei, M. (2003). *In vitro* and *in vivo* peppermint (*Mentha piperita*) growth promotion by nonmycorrhizal fungal colonization. *New Phytologist*, *158*, 591–597. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00762.x

31. Omidbaigi, R. (2011). *Production and Processing of Medicinal Plants (Vol.2).* Razavi Ghods Astan Publication, Mashhad, Iran. 438 pp. (In Persian).
32. Omidbaigi, R. (2013). *Production and Processing of Medicinal Plants (Vol.1).* Razavi Ghods Astan Publication, Mashhad, Iran. 347 pp. (In Persian).
33. Ormeno, E., & Fernandez, C. (2012). Effect of soil nutrient on production and diversity of volatile terpenoids from plants. *Current Bioactive Compounds*, *8*(1), 71-79. https://doi.org/10.2174/157340712799828188
34. Ostadi, A., Javanmard, A., Machiani, M.A., Morshedloo, M.R., Nouraein, M., Rasouli, F., & Maggi, F. (2020). Effect of different fertilizer sources and harvesting time on the growth characteristics, nutrient uptakes, essential oil productivity and composition of *Mentha x piperita* L. *Industrial Crops and Products*, *148*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112290
35. Piccaglia, R., Marotti, M., & Dellacecca, V. (1997). Effect of planting density and harvest date on yield and chemical composition of sage oil. *Journal of Essential Oil Research*, *9*(2), 187-191. https://doi.org/10.1080/10412905.1997.9699457
36. Pinzon-Torres, J.A., Contreras Porras, N.J., Durán García, D.C., & Elena Stashenko, J.R.M.M.Y. (2014). Green biomass production and quality of essential oils of palmarosa (*Cymbopogon martini* Roxb.) with application of synthesis fertilizers and organic fertilizers. *Acta Agronómica*, *63*(4), 335-342. https://doi.org/10.15446/acag.v63n4.42840
37. Prabha, M.L., Jayraay, I.A., Jayraay, R., & Rao, D.S. (2007). Effect of vermicompost on growth parameters of selected vegetable and medicinal plants. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*, *9*(2), 321-326.
38. Rahmani, N., Valadabadi, S.A., Daneshian, J., & Bigdeli, M. (2008). The effects of water deficit stress and nitrogen on oil yield of *Calendula officinalis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *24*(1), 103-108. (In Persian with English Summary)
39. Ratti, N., Kumar, S., Verma, H.N., & Gautam, S.P. (2001). Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martinii* var. Motia by *rhizobacteria*, AMF and *azospirillum* inoculation. *Microbiology Research*, *156*, 145-149. https://doi.org/10.1078/0944-5013-00095
40. Santos Marquesa, C.T.D., Silva Gamaa, E.V., Silva, F.D., Teles, S., Caiafa, A.N., & Lucchese, A.M. (2018). Improvement of biomass and essential oil production of *Lippia alba* (Mill) n.e. Brown with green manures in succession. *Industrial Crops and Products*, *112*, 113-118. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.065
41. Selvaraj, T., Mathan, C., & Rajeshkumar, N.C. (2009). Effect of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi on some growth parameters and phytochemical constituents of *Pogostemon patchouli* Pellet. *Maejo International Journal Science Technology*, *3*(10), 222-234.
42. Sharifi-Rad, J., Sureda, A., Tenore, G.C., Daglia, M., Sharifi-Rad, M., Valussi, M., Tundis, R., Sharifi-Rad, M., Loizzo, M.R., Ademiluyi, A.O., Sharifi-Rad, R., Ayatollahi, S.A., & Iriti, M. (2017). Biological activities of essential oils: From plant chemoecology to traditional healing systems. *Molecules*, *70*(22), 2-55. https://doi.org/10.3390/molecules22010070
43. Silva, G.T.A., Oliveira, W.R.D., Matos, L.V., Nóbrega, P.O., Krainovic, P.M., Campello, E.F.C., Franco, A.A., & Resende, A.S. (2007). Correlation between chemical composition and decomposition rate of green manure plants aiming the elaboration of a database. *Embrapa Agrobiologia-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, *21*, 1-28.
44. Singh, M., Singh, A., Singh, S., Tripathi, R.S., Singh, A.K., & Patra, D.D. (2010). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) as a green manure to improve the productivity of a menthol mint (*Mentha arvensis* L.) intercropping system. *Industrial Crops and Products*, *31*, 289-293. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.11.004
45. Soltani, A. (2015). Application of SAS in Statistical Analysis. Jahade Daneshghahi Mashhad Press. Mashhad, Iran. 182 pp. (In Persian).
46. Solangi, F., Bai, J., Gao, S., Yang, L., Zhou, G., & Cao, W. (2019). Improved accumulation capabilities of phosphorus and potassium in green manures and its relationship with soil properties and enzymatic activities. *Agronomy*, *9*(11), 1-16. https://doi.org/10.3390/agronomy9110708
47. Supratim, B., Roel, C.R., & Sangeeta, N. (2018). AMF: The future prospect for sustainable agriculture. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, *102*, 36-45. https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.11.007
48. Tarraf, W., Ruta, C., Tagarelli, A., De Cillis, F., & De Mastro, G. (2017). Influence of arbuscular mycorrhizae on plant growth, essential oil production and phosphorus uptake of *Salvia officinalis* L. *Industrial Crops and*

Products, *102*, 144-153. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.010

49. Thokchom, S.D., Gupta, S., & Kapoor, R. (2020). Arbuscular mycorrhiza augments essential oil composition and antioxidant properties of *Ocimum tenuiflorum* L. a popular green tea additive. *Industrial Crops and Products*, *153*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112418
50. Varma, A., Prasad, R., Berlin/Heidelberg, Germany. 533 pp. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68867-1
51. Verma, R.S., Padalia, R.C., & Chauhan, A., (2015). Harvesting season and plant part dependent variations in the essential oil composition of *Salvia officinalis* L. grown in northern India. *Journal of Herbal Medicine*, *5*(3), 165-171. https://doi.org/10.1016/j.hermed.2015.04.004
52. Wu, Y.H., Wang, H., Liu, M., Li, B., Chen, X., Ma, Y.T., & Yan, Z.Y. (2021). Effects of native arbuscular mycorrhizae isolated on root biomass and secondary metabolites of *Salvia miltiorrhiza* Bge. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 1-13. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.617892
53. Wu, Q.S., Srivastava, A., & Zou, Y.N. (2013). AMF-induced tolerance to drought stress in citrus: A review. *Scientia Horticulturae*, *164*, 77–87. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.010
54. Zheljazkov, V.D., Cerven, V., Cantrell, C.L., Ebelhar, W.M., & Horgan, T. (2009). Effect of nitrogen, location, and harvesting stage on peppermint productivity, oil content, and oil composition. *American Society for Horticultural Science*, *44*(5), 1267-1270. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.5.1267

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

Research Article
Vol. 15, No. 3, Fall 2023, p. 505-525

Monitoring the Sustainability of Cropland of Boland Village in Sistan and Baluchistan Province, Iran, using Emergy Approach

Farshad Golshani[1], Mohammad Reza Asgharipour[2*], Ahmad Ghanbari[2] and Esmaeel Seyedabadi[3]

Received: 25-09-2021
Revised: 19-12-2021
Accepted: 28-12-2021
Available Online: 28-12-2021

How to cite this article:
Golshani, F., Asgharipour, M. R., Ghanbari1, A., & Seyedabadi, E. (2023). Monitoring the sustainability of cropland of Boland village in Sistan and Baluchistan province, Iran, using emergy approach. *Journal of Agroecology, 15(3),* 505-525.
DOI: 10.22067/agry.2021.72718.1067

Introduction

Sustainability analysis of agricultural ecosystems is important in their decision-making and proper management. Quantifying the sustainability of cropping agroecosystems can provide solutions to achieve positive economic and environmental results. Emergy analysis can be used to determine the degree to which ecological and economic systems are sustainable. By employing this method, we can better understand ecological and economic systems and their interactions. Emergy analysis quantifies environmental and economic costs associated with achieving sustainability, allowing for integrated management of ecological and economic factors. Emergy analysis is currently being used in agriculture to determine the sustainability of various scales of production systems. The present study was conducted to monitor the sustainability and productivity of inputs in wheat, barley, and alfalfa production systems using emergetic indicators using information collected from the smallholders in Boland village, Sistan, Iran ,in 2019.

Materials and Methods

Boland village is located in Teymurabad village, approximately 17 kilometers north of Zabol city in Sistan and Baluchestan province. Boland village's agricultural composition includes wheat, barley, and alfalfa cultivation. During the study year, 148.9 hectares were designated for wheat cultivation, 50.8 hectares for barley cultivation, and 13.5 hectares for alfalfa cultivation. The inputs used included environmental and non-renewable resources and purchased resources. These data were gathered during the study period using a database of agricultural organizations, verbal estimates, field measurements, and researcher observations. The first step is to analyze the system's boundaries and draw an energy diagram to classify the system's inputs. Emergy analysis's second step is to create emergy evaluation tables. After quantifying each system's input flow in joules, grams, or Rials, the inputs were multiplied by their transformities to obtain the solar emjoule (sej). Specific emergy, unit emergy value, renewable emergy percentage, emergy investment ratio, emergy yield ratio, environmental loading ratio, environmental sustainability index, and emergy exchange ratio were all used in this study.

Results and Discussion

1- Ph.D. Candidate, Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
2- Professor of Agroecology, Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
(*- Corresponding author's Email: m_asgharipour@uoz.ac.ir)

Free renewable and non-renewable flows accounted for 50.79%, 45.89% and 42.29% of the total input current of wheat, barley and alfalfa production systems. The large share of free domestic inputs indicates that the majority of study farms are non-industrial systems that are managed in a semi-traditional, low-input manner. The emergy input of non-renewable environmental resources was 2.73E+17, 6.42E+17, and 4.99E+17 sej/ha in wheat, barley, and alfalfa systems, respectively. Wheat and barley production systems have high emergy flows due to the high loss of soil organic matter and soil erosion in these systems. In wheat, barley, and alfalfa production systems, the highest proportions of purchased exergy resources were associated with animal manure, nitrogen fertilizer, and phosphorus fertilizer, respectively. In wheat, barley, and alfalfa production systems, the unit emergy value was 4.44E+05, 3.80E+05, and 3.64E+05 sej/J, respectively. The higher exergy efficiency of alfalfa production systems compared to wheat and barley production systems may be attributed to alfalfa's comparable economic performance to other systems. EYR was calculated to be 2.03, 1.85, and 1.73 in wheat, barley, and alfalfa production systems, respectively. The reason for the higher EYR in wheat production is that less purchased resources are used and a greater proportion of inputs are provided by purchased resources. Additionally, the ELR values for wheat, barley, and alfalfa production systems in Boland village were 17.36, 16.09, and 7.08, respectively. The calculated values for emergy sustainability indices (ESI and ESI*) showed that the ecological sustainability of the alfalfa production system is higher than other study systems. The main reason for the greater sustainability of this system was the large share of input energy related to free environmental inputs and economical renewable resources. Also, low energy exchangeable ratio (EER), environmental sustainability resulting from market impact, less emergy expended in the production of each output unit, and higher productivity of total production factors indicate a greater comparative advantage of the alfalfa production system.

Conclusion

In general, the evaluations based on the calculation of emergy-based indicators showed that in the dominant agricultural systems of the Boland village, Sistan, attention to practical solutions in the comprehensive management of the production system, especially protection of soil organic matter and prevention of soil erosion, can have a significant impact on ecological sustainability.

Keywords: Environmental load, Emergy synthesis, Renewable inputs, Input-output based analysis, Emergy based indicators

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۵۲۵-۵۰۵

پایش پایداری بوم نظام‌های کشاورزی تولید محصولات زراعی روستای بلند استان سیستان و بلوچستان با استفاده از رهیافت تحلیل امرژی

فرشاد گلشنی[۱]، محمدرضا اصغری‌پور[۲*]، احمد قنبری[۲] و اسماعیل سیدآبادی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷

چکیده

تحلیل پایداری بوم‌نظام‌های زراعی در تصمیم‌گیری و مدیریت صحیح آن‌ها اهمیت دارد. کمی‌کردن پایداری بوم‌نظام‌های زراعی می‌تواند راهکارهایی در جهت رسیدن به نتایج اقتصادی و محیطی مثبت ارائه نماید. تحقیق حاضر، جهت پایش اکولوژیکی پایداری و بهره‌وری استفاده از نهاده‌ها در بوم‌نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه چندساله بر مبنای رهیافت امرژی، با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از سطح نظام‌های خرده مالکی روستای بلند، استان سیستان و بلوچستان، ایران در ۱۳۹۸ انجام شد. برای تحلیل نظام‌های تولید، نهاده‌ها به چهار دسته تقسیم شدند، نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر (R)، نهاده‌های محیطی تجدیدناپذیر (N)، نهاده‌های اقتصادی تجدیدپذیر، و نهاده‌های غیراقتصادی تجدیدناپذیر (FR & FN). مجموع امرژی پشتیبانی‌کننده از نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum*)، جو (*Hordeum vulgare*) و یونجه (*Medicago sativa*) به‌ترتیب برابر با ۳/۰۲×۱۰۱۸ و ۷/۰۶×۱۰۱۷ و ۵/۸۳×۱۰۱۷ امژول خورشیدی در سال بود. جریان‌های رایگان تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر به‌ترتیب ۵۰/۷۹، ۴۵/۸۹ و ۴۲/۲۹ درصد از کل امرژی ورودی نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه را به خود اختصاص دادند. سهم زیاد نهاده‌های رایگان داخلی نشان می‌دهد که غالب مزارع مطالعه، نظام‌هایی غیرصنعتی هستند که به شیوه نیمه‌سنتی و کم نهاده مدیریت می‌شوند. مقادیر محاسبه غیربرای شاخص‌های پایداری (ESI و *ESI) نشان داد، پایداری اکولوژیکی نظام تولید یونجه بیشتر از سایر نظام‌های مطالعه است. دلیل اصلی پایداری بیشتر این نظام، سهم زیاد انرژی ورودی مربوط به نهاده‌های محیطی رایگان و منابع تجدیدپذیر اقتصادی بود. همچنین پایین بودن کسر مبادله امرژی (EER)، پایداری زیست‌محیطی منتج از تأثیر بازار، مقدار انرژی صرف شده کمتر در تولید هر واحد خروجی و بهره‌وری بیشتر کل عوامل تولید حاکی از مزیت نسبی بیشتر نظام تولید یونجه است. در مجموع، ارزیابی‌های انجام غیربر اساس محاسبه شاخص‌های مبتنی بر امرژی نشان داد، در نظام‌های زراعی غالب روستا، توجه به راهکارهای عملی در مدیریت جامع بوم‌نظام تولیدی به‌ویژه حفاظت از مواد آلی خاک و جلوگیری از فرسایش خاک، می‌تواند در پایداری اکولوژیکی این نظام‌ها تأثیر چشمگیری داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل امرژی، تحلیل مبتنی بر ورودی- خروجی، شاخص‌های مبتنی بر امرژی، فشار زیست‌محیطی، نهاده‌های تجدیدپذیر

مقدمه

منابع طبیعی در حال حاضر برای تولید غذا تحت‌فشار زیادی قرار دارند و یافتن راه‌حل‌هایی که بدون استفاده از آب بیشتر یا ایجاد تخریب محیط منجر به افزایش تولید مواد غذایی شود، ضروری است

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: m_asgharipour@uoz.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.72718.1067

(Amiri et al., 2020Muzari, 2014 ;). بـه‌دلیـل تـأمین تقاضـای روزافزون برای محصولات کشاورزی و در عـین‌حـال، حفـظ خـدمات محیطی بوم‌نظام‌ها، تخصیص بهینه منابع ضروری است. در سال‌های اخیر همراه با پیشرفت‌های تکنولوژیکی و جهانی‌شدن اقتصاد، انتخاب گیاه زراعی مناسب و بهبود روش‌هـای مـدیریت محصـولات زراعـی اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده اسـت (Sneessens et al., Clark, 2004 ; 2016). نظام‌های زراعی متداول به‌شدت به نهاده‌هـای بـازاری نظیـر کودهای شیمیایی، انـرژی‌هـای صـنعتی، نیـروی کـار و ماشـین‌آلات وابسته هستند. با توجه به هزینه‌های بالای تهیه نهـاده‌هـای خـارجی برای تولید محصولات زراعی، شناسایی نقاط مهـم هـدررفت عناصـر غذایی و رویکردهایی برای بهبود چرخه عناصر غذایی ضروری اسـت (Amiri et al., 2019). کمبود و افزایش قیمـت جهـانی حامـل‌هـای انرژی از یک‌سو و اثرات محیطی حاصـل از مصـرف انـرژی، در کنـار نگرانی‌های بین‌المللی و ضرورت توجه به توسعه پایدار از سوی دیگر، سیاست‌گذاران را مصمم بـه اتخـاذ راهکارهـایی بـرای بهینـه‌سـازی مصرف انرژی و کاهش اثـرات زیسـت‌محیطـی در بخـش کشـاورزی کرده است (Heidari et al., 2015). بنـابراین، نحـوه سـیر انـرژی و کاهش اثرات محیطی از جمله مباحث مهم در طراحی بوم نظـام‌هـای زراعی می‌باشد. همچنین درک شیوه‌های تخصیص انرژی بـه اجـزای بوم‌نظام کشاورزی در توسعه و مدیریت این بوم‌نظام‌ها و کاهش انتشار اثرات زیست‌محیطی اهمیـت دارد (Colaco et al., 2012). اسـتفاده کارآ از انرژی در کشاورزی یکی از اصول کشـاورزی پایـدار محسـوب می‌شود. بنابراین، راهبرد بخش کشاورزی ترویج نظـام‌هـایی از تولیـد محصولات کشاورزی است که بتوانند بـه‌ازای مصـرف کمتـر انـرژی مقدار بیشتری انرژی تولید کنـد (Tzilivakis et al., 2005). اگرچـه هدف اساسی در نظام‌های زراعی، افزایش سود اقتصادی اسـت، ولـی بـوم نظـام‌هـای زراعـی بایـد بتواننـد پایـداری تولیـد محصـولات در درازمدت، حفاظـت از منـابع پایـه، کـاهش آلـودگی‌هـای محیطـی و درنهایت ثبات تولید را تضمین کنند (Vandermeer et al., 2011).

ایجاد و حفظ پایداری در کشاورزی به تکنیک‌های جـامعی بـرای ارزیـابی و تحلیـل پایـداری نیـاز دارد (Quintero-Angel & Gonzalez-Acevedo, 2018). از جمله روش‌های جامع در ارزیـابی پایداری در نظام‌های کشـاورزی بـرآورد کمیـت و کیفیـت انـرژی بـا اسـتفاده از تکنیـک تحلیـل امـرژی اسـت (Amiri et al., 2019). امرژی، انرژی در دسترس خورشیدی اسـت کـه بـه‌طـور مسـتقیم یـا غیرمستقیم استفاده می‌شود تا به ارائه خـدمات و یـا محصـول منجـر شود. به امرژی، انرژی مجسم یـا "حافظـه انـرژی" نیـز مـی‌گوینـد. استفاده از رویکرد امرژی در جهت هدایت سیاستگذاری‌ها می‌تواند بـه رابطه همزیستی میان انسان و طبیعـت منجـر شـود (Wang et al., 2014). در سال‌های اخیر از تکنیک تحلیل امرژی به‌طور گسـترده‌ای برای مقایسه نظام‌های طبیعی و کشـاورزی، ارزیـابی اثـرات محیطـی تولید در مقیاس‌هـای مختلـف، تعیـین بهـره‌وری، پایـداری و کـارایی اسـتفاده از منـابع اسـتفاده شـده اسـت (de Barros et al., 2009 ; Campbell et al., 2009).

امیری و همکاران (Amiri et al., 2021) از ۱۴ شاخص متفاوت و دارای قابلیت سنجش ابعاد اکولوژیکی، اقتصادی و بـازاری و انـدازه گیری کیفیت محصول برای مقایسه سه نظام زراعی مکانیزه، سنتی و حفاظتی تولید موسیر با رویشگاه طبیعی این گیاه استفاده کرده و نظام حفـاظتی تولیـد موسـیر (*Allium stipitatum*) را بهینـه‌تـرین و پایدارترین نظام به‌منظور جایگزینی نظام‌های موجود در تولیـد موسـیر در ایران معرفی کردنـد. نتـایج حاصـل از تحلیـل امـرژی و محاسـبه شـاخص‌هـای ترمودینـامیکی چهـار نظـام تولیـد خیـار (*Cucumis sativus*)، گوجـه‌فرنگـی (*Solanum lycopersicum*)، فلفـل (*Capsicum annuum*) و بادمجـان (*Solanum melongena*) در جیرفتِ ایران حاکی از پایداری نظام تولید خیار در مقایسه با سه نظـام دیگر بود (Asgharipour et al., 2020). در راستای ارائه راهبردهای مناسب جهت توسعه کشت، افزایش پایداری و بهـره‌وری تولیـد کلـزا (*Brassica napus*)، امیـری و همکـاران (Amiri et al., 2020) بـا استفاده از تحلیل‌های اقتصادی و امرژی دو نظام معیشـتی و تجـاری تولید کلزا را مقایسه کردند. در میان دو الگوی مورد مطالعه تولید کلزا، پایداری محیط زیسـتی بـالاتر، درصـد تجدیدپـذیری بیشـتر امـرژی ورودی و بار زیست‌محیطی کمتر مزایای نظام معیشتی، و بـالا بـودن کسر مبادله امرژی، پایداری زیست‌محیطی منتج از تأثیر بـازار، مقـدار امرژی صرف شده کمتر در تولید هر واحد خروجی (اثـربخشـی بـالاتر امرژی) و بهره‌وری بیشتر کل عوامل تولید مزایای نظام تجاری بودند.

در مناطق روستایی سیستان شیوه مالکیت اراضـی خـرده مـالکی است و اکثر مزارع به‌صورت نیمه سنتی مـدیریت مـی‌شـوند. در ایـن نظام‌ها، عملیاتی مانند تهیه بستر، کاشت و برداشت گیاه و گاه برخـی از عملیات داشت مانند وجین کـردن بـا ماشـین انجـام مـی‌شـود. در نظام‌های زراعی این مناطق، سرمایه‌گذاری اندک و مصـرف منـابع در

واحد سطح بالا نیست. تولید محصول در این مناطق تا حد زیادی به حاصلخیزی طبیعی خاک، و مقدار آب آبیاری در دسترس وابسته است. دستیابی به تولید پایدار در منطقه سیستان در هر دو بعد منطقه‌ای و ملی اهمیت زیادی دارد. مکانیسم‌ها و ویژگی‌های نظام‌های تولید محصولات زراعی به‌منظور فراهم شدن امکان استفاده بهینه از منابع رایگان طبیعی، بهره‌برداری از کنترل طبیعی آفات و بهبود کارکردهای اجزاء نظام باید به‌طور جامع بررسی شود (Franzluebbers & Stuedemann, 2007).

روستای بلند یک روستای دشتی است که در شهرستان هامون در شرق منطقه سیستان قرار دارد (Abbasi et al., 2017). تحلیل نظام‌های تولیدی با استفاده از تکنیک امرژی و وارد نمودن نهاده‌های تأثیرگذار بر پایداری با واحد یکسان امژول خورشیدی، می‌تواند تصویری گویا از وضعیت پایداری این نظام‌ها و بینش جدیدی را با تحلیل هزینه‌ها و مزایای مدیریت نظام‌های تولید در روستای بلند که با محدودیت‌های زیادی مواجه است، ارائه دهد. یافته‌های چنین مطالعه‌ای می‌تواند اطلاعات تکمیلی را برای بهبود و توسعه کشت همراه با کاهش هزینه‌ها و اثرات مخرب محیطی در سطح روستا به ارمغان آورد. بر این اساس، هدف این مطالعه، ارزیابی پایداری اکولوژیکی نظام‌های تولید محصولات زراعی عمده روستای بلند، در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از رهیافت امرژی و تعیین ساختار نهاده‌ها و شاخص‌های مبتنی بر امرژی در نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه روستای بلند بود.

مواد و روش‌ها

سایت اجرای پژوهش

روستای بلند در دهستان تیمور آباد در فاصله ۱۷ کیلومتری شهر زابل در شمال استان سیستان و بلوچستان قرار دارد. این روستا در مختصات جغرافیایی ۳۴/۷۹۵۳ شمالی و ۳۴/۲۶۱۶۵ شرقی و ۴۷۴ متر ارتفاع از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). براساس آماربرداری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، روستای بلند ۶۴ خانوار و ۴۲۲ نفر جمعیت دارد. خاک اراضی این روستا از نوع رسوبات رودخانه‌ای است که همراه سیلاب از نقاط دوردست به دشت منتقل شده و در آنجا ته‌نشین شده‌اند. عمده خاک‌های این منطقه جزء رده Aridisols و Entisols است که دارای pH بیش‌تر از هفت و شوری حدود پنج دسی‌زیمنس بر متر است. منطقه سیستان دارای اقلیم نیمه بیابانی گرم و فراخشک است. از خصوصیات مهم اقلیمی این منطقه می‌توان به وزش بادهای شدید در طول ماه‌های خرداد تا شهریور (سیاه باد سیستان)، سالیانه بیش از ۲۶۰ روز آفتابی، دامنه تغییرات زیاد دما در شبانه روز، بارندگی متوسط سالیانه ۶۴ میلی‌متر با پراکندگی نامناسب، و بالا بودن دما به‌خصوص در فصل تابستان را نام برد (Tavousi & Raeispour, 2011). در زابل میانگین سالیانه دما ۲۱/۹ درجه سانتی‌گراد است.

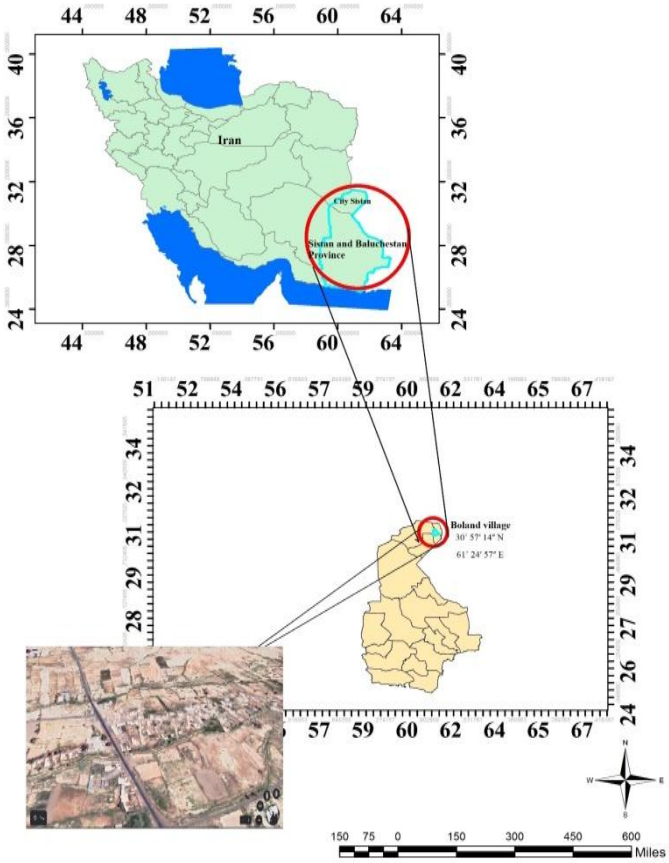
چهار محصول مهم روستای بلند گندم، جو و یونجه است. زراعت و تولید علوفه، اقتصاد عمده خانوارهای روستایی را تشکیل می‌دهد و فعالیت‌های دیگر به‌دلیل فراهم نبودن بستر مناسب گسترش نیافته‌اند. در سال مورد مطالعه از مجموع اراضی روستا ۱۴۸/۹ هکتار به کشت گندم، ۵۰/۸ هکتار به کشت جو و ۱۳/۵ هکتار به کشت یونجه اختصاص یافته بود. منابع آب‌های سطحی منطقه متکی به رودخانه هیرمند است. به‌دلیل وضعیت خاص زمین‌شناسی، آبرفتی بودن دشت و ساختار رسی خاک منطقه امکان تشکیل سفره‌های آب زیرزمینی غنی در این منطقه وجود ندارد (Zia Tavana, 1992). با این‌حال، اخیراً هشت حلقه چاه کم عمق برای توسعه کشاورزی در روستای بلند حفر شده است. آب مورد استفاده برای پرورش گندم، جو و یونجه از طریق چاه و آب رودخانه هیرمند در بهار و باران‌های محدود فصلی تأمین می‌شود.

جمع‌آوری اطلاعات

در این مطالعه، به‌منظور ارزیابی ساختار امرژی ورودی، محاسبه شاخص‌های امرژی و تحلیل اقتصادی نهاده‌های مورد استفاده در اراضی زراعی در دوره زمانی یک‌ساله برای سال ۱۳۹۸ جمع‌آوری گردید. نهاده‌های مورد استفاده در نظام‌ها شامل نهاده‌های رایگان تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و نهاده‌های غیررایگان شامل ادوات و تأسیسات، ماشین‌آلات، نیروی انسانی، کودها، سموم، الکتریسیته و ستانده‌ها شامل دانه و کود آلی بود. این داده‌ها با استفاده از پایگاه اطلاعات جهاد کشاورزی، برآوردهای کلامی با استفاده از پرسش‌نامه چهره-به-چهره، و اندازه‌گیری‌های میدانی و مشاهدات محقق در طول دوره مطالعه گردآوری شد. آمار و اطلاعات هواشناسی بلندمدت برای تابش خورشیدی از ایستگاه هواشناسی سیستان تعیین شد. نمونه کود آلی برای آنالیز طیف‌سنجی ابتدا به‌روش هضم خشک آماده‌سازی شد. ترکیبات معدنی نمونه با روش طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS[1]) آنالیز و اندازه‌گیری شد (McLaughlin et al., 2012). مقدار نیتروژن کود اوره ۴۶ درصد، مقدار فسفر سوپر فسفات تریپل ۲۰ درصد، و مقدار پتاسیم در سولفات پتاسیم ۴۳ درصد در نظر گرفته شد (Chen, 2011). جریان انرژی ورودی سالیانه به‌شکل تأسیسات ساختاری، ساختمان‌ها، ماشین‌آلات و مواد مورداستفاده در نظام‌ها با توجه به

1- Atomic absorption spectroscopy

طول عمر خدمات آن‌ها برآورد شد (Jafari Vassallo et al., 2007 ; et al., 2018).



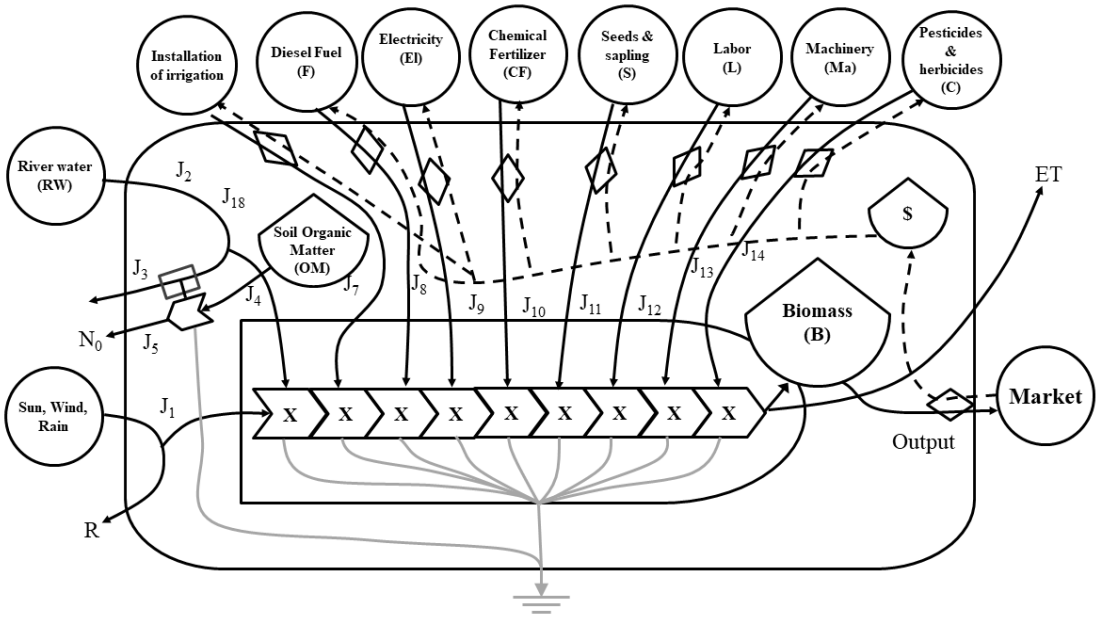
شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعه در استان سیستان و بلوچستان و ایران

Fig. 1- Study location within Sistan and Baluchestan Province and Iran

روش تحلیل امرژی

تکنیک تحلیل امرژی توسط محققین مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است (Odum, 1996; Odum et al.,Uligati et al., 1994 ; 2000). نخستین مرحله برای تحلیل امرژی تعیین مرزهای مکانی و زمانی نظام‌های مورد بررسی و ترسیم دیاگرام انرژی برای طبقه‌بندی نهاده‌های نظام‌های مورد بررسی به تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر، محلی یا وارداتی است (شکل ۲). این روش برای مدیریت بین اجزای اصلی و فرایندهای مهم نظام اهمیت دارد. زبان نظام‌های انرژی یک زبان نمادین است که ویژگی‌های شبکه‌ای نظام‌ها را نمایش می‌دهد (Odum, 1996). مرحله دوم تحلیل امرژی، ترسیم جداول ارزیابی امرژی است.

نهاده‌ها در نظام‌های تولیدی جهت بررسی به چهار دسته تقسیم می‌شوند (Lu et al., 2010): منابع محیطی تجدیدپذیر (R)، شامل: نور خورشید، باد، انرژی‌های شیمیایی و ژئوپتانسیل باران (انرژی فیزیکی آب جاری بر پیکره گیاه)، آب رودخانه و تبخیر و تعرق؛ منابع محیطی تجدیدناپذیر (N)، شامل: تلفات ماده آلی خاک، فرسایش و آب‌های زیرزمینی؛ منابع خریداری شده تجدیدپذیر (FR) و منابع خریداری شده تجدیدناپذیر (FN) شامل: بذر، کودهای شیمیایی، کود آلی، نیروی کارگری، الکتریسیته، ماشین‌آلات کشاورزی، سوخت فسیلی، سموم و آفت‌کش‌های شیمیایی، و زمین و تأسیسات است (Asgharipour et al., 2019 and 2020). آب از منبع رودخانه تجدیدپذیر در نظر گرفته شده و در دسته نهاده‌های R قرار گرفت و آب از منبع چاه تجدیدناپذیر بود و در دسته N دسته‌بندی شد.



شکل ۲- دیاگرام جریان انرژی برای نظام‌های زراعی روستان بلند، ایران

Fig. 2- Summary diagram of the emergy flows of the cropping production systems in Boland village, Iran

متوسط فرسایش بادی در تمام نظام‌ها ۲۷/۸۸ $ton.ha^{-1}$ در نظر گرفته شد (Porsur, 2009). فرسایش آبی با مدل RUSLE[1] تخمین زده شد. نمونه‌های خاک از مکان‌های تحقیقاتی در اوایل مهرماه سال ۱۳۹۷ و سال ۱۳۹۸ برای ارزیابی نحوه تغییرات کربن آلی برداشت شد. در هر مکان، نمونه‌های خاک در مرکز و چهارگوشه هر مزرعه با استفاده از یک اوگر برداشته شده و برای تشکیل یک نمونه مرکب با هم مخلوط شد. کربن آلی نمونه‌های خاک مزارع با استفاده از روش والکی و بلک (Schulte et al., 1996) اندازه‌گیری شد. همچنین عملکرد محصول اقتصادی و بیولوژیک مزارع محصولات مختلف اندازه‌گیری شد. امرژی ماشین‌آلات با توجه به وزن فولاد به‌کار رفته، عمر اقتصادی ماشین، ساعات کار ماشین‌آلات در سال در نظر گرفته شد (Campbell et al., 2005). به این منظور، وزن هرکدام از ماشین‌آلات مورد استفاده در ساعات کاری ضرب شده و بر عمر اقتصادی ماشین‌آلات و ساعات کاری ماشین در طی سال تقسیم شد. برای محاسبه امرژی بذر مصرفی و تجهیزات آبیاری از ضریب امرژی به‌ازای واحد پول ($۶/۷۶\times۱۰^{۷}$ امژول خورشیدی به‌ازای هر ریال) استفاده شد (Amiri et al., 2021). محتوای انرژی محصولات زراعی و علوفه‌ای از طریق سوزاندن در بمب کالری‌متر (Parr-6200 Calorimeter) محاسبه شد.

پس از کمی‌سازی همه جریان‌های ورودی برحسب ژول، گرم یا ریال برای هر یک از نظام‌ها، ورودی‌ها در ضرایب تبدیل[2] آن‌ها ضرب شد تا به واحد امرژی (sej) تبدیل شود (Lu et al., 2009; Campbell et al., 2005; Odum et al., 2000). این ضرایب تبدیل برای هر جزء و محصول از مطالعات قبلی اقتباس شده است (Amiri et al., 2019Odum, 1996;). ضرایب تبدیل مختلفی برای هر مورد در منابع مختلف محاسبه شده است، و ضرایب تبدیل از مطالعاتی انتخاب شد که با شرایط مطالعه حاضر بیشترین شباهت را داشتند. جزئیات محاسبات مربوط به ارزیابی نهاده‌ها در پیوست مقاله ارائه شده است.

در تحلیل‌های امرژی از شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی‌های زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و حتی کیفیت محصولات تولیدی بوم‌نظام‌ها استفاده می‌شود (Cavalett et Ulgiati et al., 1994; al., 2006; Lu et al., 2010; Amiri et al., 2019). در این مطالعه، از شاخص‌های امرژی ویژه (SpE[3])، ارزش واحد امرژی

1- Revised universal soil loss equation

2- Transformities

3- Specific emergy

(UEV[1])، درصد امرژی تجدیدپذیر (%R[2])، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR[3])، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی اصلاح شده (EIR*[4])، نسبت عملکرد امرژی (EYR[5])، نسبت بار محیط زیستی (ELR[6]) و نسخه اصلاح شده آن (ELR*)، پایداری محیط‌زیست (ESI[7]) و نسخه اصلاح شده آن (ESI*)، کسر مبادله امرژی (EER[8]) استفاده گردیده که در جدول ۱ به همراه مشخصات و فرمول‌های مربوطه آورده شده است.

نتایج و بحث

ساختار استفاده از امرژی

جهت درک بهتر ساختار استفاده از امرژی، جریان‌های امرژی ورودی نظام‌های زراعی مطالعه در جدول ۲ به‌تفصیل آورده شده است. کلیه جریان‌های ورودی محیطی رایگان و خریداری شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر با ضرب‌در ضرایب تبدیل اقتباس شده از پژوهش‌های گذشته و قابل‌استفاده برای نظام‌های مورد مطالعه به واحدهای امرژی تبدیل شدند. جریان امرژی ورودی در نظام‌های گندم، جو و یونجه روستا به‌ترتیب برابر با $۳/۰۲\times۱۰^{۱۸}$ و $۷/۰۶\times۱۰^{۱۷}$ و $۵/۸۳\times۱۰^{۱۷}$ امژول خورشیدی در سال بود (جدول ۳).

جریان‌های محیطی تجدیدپذیر (R)

در این مطالعه، انرژی‌های نور خورشید، باد، باران، آب رودخانه و تبخیر و تعرق آب رودخانه جریان‌های محیطی تجدیدپذیر (R) را تشکیل دادند. با توجه به این‌که این جریان‌ها به‌طور مستقیم از انرژی های نور خورشید منشعب می‌شوند، جهت اجتناب از شمارش مضاعف بزرگ‌ترین آن‌ها به‌اضافه انرژی خورشیدی که در فتوسنتز مورداستفاده قرار می‌گیرد، به‌عنوان امرژی جریان‌های محیطی تجدیدپذیر در نظر گرفته شد (Asgharipour et al., 2019).

امرژی جریان‌های تجدیدپذیر به‌ترتیب برای نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه روستا برابر با $۱/۶۵\times۱۰^{۱۷}$، $۴/۱۳\times۱۰^{۱۶}$ و $۱۰^{۱۶}\times۷/۲۱$ امژول خورشیدی در سال بود (جدول ۳). جریان‌های R به‌ترتیب ۵/۴۵، ۵/۸۵ و ۱۲/۳۷ درصد از کل امرژی وارد شده به‌نظام‌های گندم، جو و یونجه را تشکیل داد (شکل ۳). مقایسه مقادیر R سه نظام موردمطالعه، بیانگر بهره‌مندی بیشتر نظام تولید یونجه از جریانات تجدیدپذیر محیطی به‌دلیل طولانی بودن دوره رشد گیاه و هم‌زمانی بخشی از رشد با بادهای ۱۲۰ روزه منطقه سیستان بود. این بادها در ابتدای فصل تابستان همراه با گرد و غبار شروع به وزیدن می‌نمایند و تا پایان فصل ادامه دارند و گاهی به‌سرعت ۹۰ کیلومتر در ساعت نیز می‌رسند. از جمله اثرات این بادهای موسمی می‌توان به افزایش شدید تبخیر و تعرق گیاهی، فرسایش خاکی و کاهش ماده آلی خاک اشاره نمود. از سوی دیگر، دلیل پایین بودن میزان امرژی ورودی در نظام‌های گندم و جو از منبع نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر دوره رویش کوتاه و اتمام فصل رشد پیش از شروع بادهای منطقه سیستان است.

جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر (N)

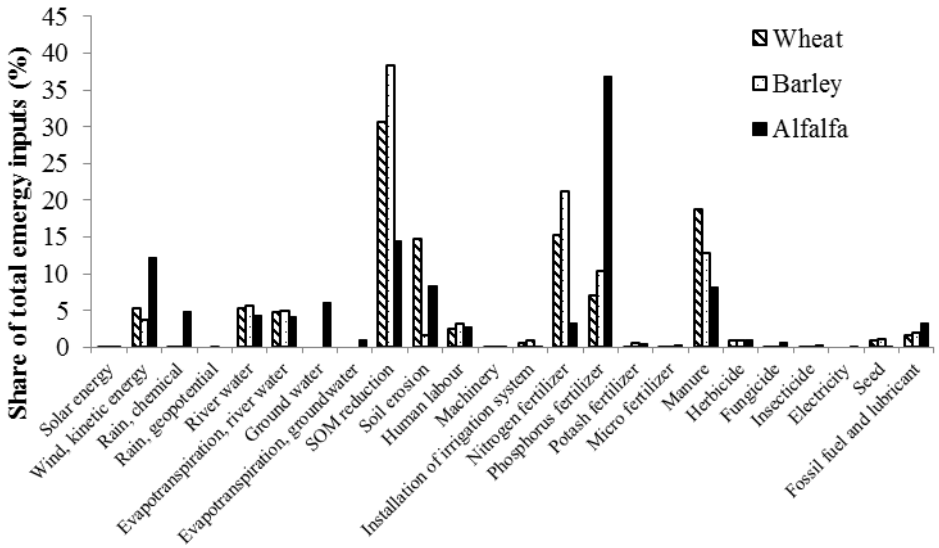
منابع تجدیدناپذیر محیطی (N) شامل آب‌های زیرزمینی، تبخیر و تعرق آب‌های زیرزمینی، فرسایش خاک و تلفات ماده آلی خاک است. در نظام‌های گندم، جو و یونجه روستا مقدار امرژی جریان‌های N به‌ترتیب $۱/۳۷\times۱۰^{۱۸}$ و $۲/۸۳\times۱۰^{۱۷}$ و $۱/۷۴\times۱۰^{۱۷}$ امژول خورشیدی در سال بود (جدول ۳). این مقادیر برای نظام‌های گندم، جو و یونجه به‌ترتیب برابر با ۴۵/۳۴، ۴۰/۰۴ و ۲۹/۹۲ درصد از کل امرژی ورودی به این نظام‌ها است (شکل ۳). دلیل بالا بودن سهم جریان‌های ورودی نظام‌های تولید گندم و جو، تلفات زیاد ماده آلی خاک و فرسایش خاک در این نظام‌ها بود. میزان تلفات مواد آلی خاک و فرسایش خاک برای گندم $۹/۲۷\times۱۰^{۱۷}$ و $۴/۴۵\times۱۰^{۱۷}$ امژول خورشیدی در سال، برای جو $۲/۷۱\times۱۰^{۱۷}$ و $۱/۲۱\times۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در سال و برای یونجه $۸/۴۰\times۱۰^{۱۶}$ و $۴/۸۶\times۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در سال بود. لازم به ذکر است، در نظام‌های تولید یونجه به‌دلیل استفاده از آب‌های زیرزمینی سهم منبع تجدیدناپذیر آب‌های زیرزمینی از امرژی ورودی ۶/۱۶ درصد بود، در حالی که آبیاری نظام‌های گندم و جو صرفاً بر مبنای منبع آب تجدیدپذیر رودخانه هیرمند است و سهم مصرف نهاده آب زیرزمینی صفر است.

1- Unit emergy value
2- Renewable emergy ratio
3- Emergy investment ratio
4- Modified emergy investment ratio
5- Emergy yield ratio
6- Environmental loading ratio
7- Environmental sustainability index
8- Emergy exchange ratio

جدول ۱- مشخصات و فرمول شاخص‌های مبتنی بر امرژی مورداستفاده برای ارزیابی نظام‌های تولید

Table 1- Specifications and formulas of indicators based on energy used to evaluate the production systems of wheat, garlic, onion, fennel, cumin, black seed of Hirmand

شاخص Indicator	فرمول Formula	مشخصات Specifications	منبع Reference
ورودی‌های تجدیدپذیر از منابع رایگان Renewable inputs from free local resources	R	جریان‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental flows	Odum (1996)
ورودی‌های رایگان محیطی تجدید ناپذیر Non-renewable environmental inputs	N	جریان‌های تجدید ناپذیر از منابع محلی رایگان Non-renewable environmental flows	Odum (1996)
ورودی‌های بازاری تجدیدپذیر Renewable purchased inputs	F_R	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع بازاری Renewable flows from purchased resources	Odum (1996)
ورودی‌های بازاری تجدید ناپذیر Non-renewable purchased inputs	F_N	جریان‌های تجدید ناپذیر از منابع بازاری Non-renewable purchased flows	Odum (1996)
ورودی امرژی کل Total emergy input	$U=R+N+F_R+F_N$	کل منابع امرژی موردنیاز برای حمایت از نظام تولید Total emergy resources required to support the production system	Odum (1996)
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)
تجدیدپذیری امرژی Emergy renewability	$\%R= (R+F_R/U) \times 100$	درصد امرژی تجدیدپذیر استفاده غیرتوسط نظام Percentage of the renewable energy used by the system	Odum (2000)
نسبت عملکرد امرژی Emergy yield ratio	$EYR=Y/F_R+F_N$	مقیاس استفاده از منابع محیطی با سرمایه‌گذاری در منابع اقتصادی Ability of a process to use renewable and nonrenewable environmental resources with economic resources as a capital	Odum (2000)
نسبت سرمایه‌گزاری امرژی Emergy investment ratio	$EIR=(F_R+F_N)/(R+N)$	EIR نسبت منابع انرژی خریداری غیراز خارج به کل انرژی محیطی رایگان در نظام EIR is the ratio of emergy resources purchased from outside to all free environmental emergy in the system	Brown & Ulgiati (2004)
نسبت بار زیست‌محیطی استاندارد Standard environmental loading ratio	$ELR=(N+F_N+F_R)/ R$	فشار محیطی ایجاد شده توسط یک نظام Environmental pressure produced by a process	Lu et al. (2014)
نسبت بار زیست‌محیطی اصلاح شده Modified environmental loading ratio	$ELR^*= (N+F_N)/ F_R+(R)$	مقیاس اندازه‌گیری پایداری An inverse measure of sustainability	Lu et al. (2014)
شاخص پایداری محیط 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)
شاخص پایداری محیط اصلاح شده Modified environmental sustainability Index	$ESI^*= (EYR/ELR^*)$	شاخص پایداری متناوب که بر استفاده از منابع تجدیدپذیر توأم 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	$EER= YM/U$	Economic output (A system yield) traded with money in the market (YM) on total emergy input rate (U) خروجی اقتصادی (عملکرد نظام) مبادله شده با پول در بازار (YM) تقسیم بر کل امرژی ورودی نظام (U)	Odum (1996)



شکل ۳- سهم نهاده‌های مختلف در نظام‌های محصولات مختلف تولید روستای بلند، سیستان، ایران

Fig. 3- Share of emergy inputs of different cropping production systems in Boland village, Sistan, Iran (%)

جدول ۲- مقادیر خام و کسر تجدیدپذیری برای نظام‌های مختلف تولید محصولات زراعی در روستای بلند

Table 2- Raw data and renewability Fraction for different cropping production systems in Boland village.

	Unit واحد	Wheat گندم	Barley جو	Alfalfa یونجه	Renewable fraction کسر تجدیدپذیری
جریان‌های محیطی تجدیدپذیر **Renewable environmental input (R)**					
نور خورشیدی Solar energy	J	4.07E+15	1.24E+15	8.62E+14	1
انرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy	J	1.27E+14	2.15E+13	5.70E+13	1
انرژی شیمیایی باران Rain, chemical	J	2.89E+11	9.87E+10	1.26E+12	1
انرژی ژئوپتانسیل باران Rain, geopotential	J	8.04E+09	2.74E+09	7.30E+08	1
آب رودخانه River water	J	4.45E+12	1.11E+12	6.92E+11	1
تبخیر و تعرق آب رودخانه Evapotranspiration, river water	J	5.01E+12	1.21E+12	8.38E+11	1
جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر **Non-renewable environmental input**					
آب زیرزمینی Ground water	J	0.00E+00	0.00E+00	1.87E+11	0
تبخیر و تعرق آب زیرزمینی Evapotranspiration, groundwater	J	0.00E+00	0.00E+00	2.05E+11	0
تلفات موادآلی خاک SOM reduction	J	9.90E+12	2.89E+12	8.97E+11	0
فرسایش خاک Soil erosion	J	3.50E+08	9.55E+06	3.83E+07	0
نهاده‌های غیررایگان **Non-free inputs**					

نیروی انسانی Human labour	J	3.48E+10	1.03E+10	7.48E+09	0.1
ماشین‌آلات Machinery	g	6.97E+05	2.39E+05	8.64E+04	0
استقرار نظام آبیاری Installation of irrigation system	Rial	2.98E+08	1.02E+08	1.62E+06	0
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	g	1.50E+07	4.83E+06	6.08E+05	0
کود فسفر Phosphorus fertilizer	g	7.62E+06	2.60E+06	7.62E+06	0
کودپتاسیم Potash fertilizer	g	5.24E+06	1.69E+06	1.11E+06	0
کود میکرو Micro fertilizer	g	1.64E+05	5.59E+04	7.43E+04	0
کود دامی Manure	g	1.91E+09	3.05E+08	1.62E+08	0.2
علف‌کش Herbicide	g	4.47E+05	1.02E+05	8.91E+04	0
قارچ‌کش Fungicide	g	1.49E+05	3.81E+04	6.89E+04	0
حشره‌کش Insecticide	g	1.27E+05	2.54E+04	3.38E+04	0
الکتریسیته برای آبیاری Electricity for irrigation	J	0.00E+00	0.00E+00	4.37E+09	0.03
بذر Seed	Rial	4.50E+08	1.11E+08	8.64E+06	0.2
سوخت و روان‌کننده‌ها Fossil fuel and lubricant	g	5.70E+11	1.64E+11	2.27E+11	0
خروجی‌ها Output					
عملکرد اقتصادی Economic yield	g	4.63E+08	1.28E+08	1.09E+08	
عملکرد اقتصادی Economic yield	J	6.81E+12	1.86E+12	1.60E+12	
عملکرد کاه Straw yield	g	5.12E+08	1.50E+08	–	
عملکرد کاه Straw yield	J	1.15E+12	3.38E+11	–	

جدول ۳- نتایج تحلیل امرژی و ساختار مصرف امرژی نظام‌های مختلف تولید محصولات زراعی در روستای بلند

Table 3- Emergy synthesis and input structure of different cropping production systems in Boland village (sej.ha^{-1})

	ضریب تبدیل Transformity	منبع Reference	گندم Wheat	جو Barley	یونجه Alfalfa
جریان‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental input (R)					
نور خورشیدی Solar energy	1.00E+00	طبق تعریف By definition	4.07E+15	1.24E+15	8.62E+14
انرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy	1.25E+03	Campbell & Erban (2016)	1.59E+17	2.69E+16	7.13E+16
انرژی شیمیایی باران Rain, chemical	2.25E+04	Campbell (2003)	6.50E+15	2.22E+15	2.84E+16
انرژی ژئوپتانسیل باران Rain, geopotential	1.34E+04	Campbell et al. (2005)	1.08E+14	3.67E+13	9.78E+12

آب رودخانه River water	3.61E+04	Buenfil (2001)	1.61E+17	4.01E+16	2.50E+16
Evapotranspiration, river water تبخیر و تعرق آب رودخانه	2.88E+04	Campbell (2003)	1.44E+17	3.48E+16	2.41E+16
مجموع Subtotal			1.65E+17	4.13E+16	7.21E+16
جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر **Non-renewable environmental input**					
آب زیرزمینی Groundwater	1.92E+05	Buenfil (2001)	0.00E+00	0.00E+00	3.59E+16
Evapotranspiration, groundwater تبخیر و تعرق آب زیرزمینی	2.88E+04	Campbell (2003)	0.00E+00	0.00E+00	5.90E+15
تلفات موادآلی خاک SOM reduction	9.36E+04	Brandt-Williams (2002)	9.27E+17	2.71E+17	8.40E+16
فرسایش خاک Soil erosion	1.27E+09	Brown & Bardi (2001)	4.45E+17	1.21E+16	4.86E+16
مجموع Subtotal			1.37E+18	2.83E+17	1.74E+17
نهاده‌های غیررایگان **Non-free inputs**					
نیروی انسانی Human labour	2.22E+06	Lu et al. (2009)	7.73E+16	2.29E+16	1.66E+16
ماشین‌آلات Machinery	1.01E+10	Campbell et al. (2005)	7.04E+15	2.41E+15	8.73E+14
استقرار نظام آبیاری Installation of irrigation system	6.76E+07	Asgharipour et al. (2020)	2.01E+16	6.90E+15	1.10E+14
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	3.09E+10	Brandt-Williams (2002)	4.64E+17	1.49E+17	1.88E+16
کود فسفر Phosphorus fertilizer	2.82E+10	Brandt-Williams (2002)	2.15E+17	7.33E+16	2.15E+17
کودپتاسیم Potash fertilizer	2.23E+09	Odum (1996)	1.17E+16	3.77E+15	2.48E+15
کود میکرو Micro fertilizer	2.05E+10	Lan et al. (2002)	3.36E+15	1.15E+15	1.52E+15
کود دامی Manure	2.96E+08	Odum (1996)	5.65E+17	9.03E+16	4.80E+16
علف‌کش Herbicide	6.30E+10	Hu et al. (2010)	2.82E+16	6.43E+15	5.61E+15
قارچ‌کش Fungicide	6.30E+10	Hu et al. (2010)	9.39E+15	2.40E+15	4.34E+15
حشره‌کش Insecticide	6.30E+10	Hu et al. (2010)	8.00E+15	1.60E+15	2.13E+15
الکتریسیته Electricity	2.31E+05	Asgharipour et al. (2020)	0.00E+00	0.00E+00	1.01E+15
بذر Seed	6.76E+07	Asgharipour et al. (2020)	3.04E+16	7.50E+15	5.84E+14
سوخت و روان‌کننده‌ها Fossil fuel and lubricant	8.60E+04	Bastianoni et al. (2009)	4.90E+16	1.41E+16	1.95E+16
مجموع Subtotal			1.49E+18	3.82E+17	3.36E+17
مجموع کل Total			3.02E+18	7.06E+17	5.83E+17

در مطالعه امیری و همکاران (Amiri et al., 2019, 2020) روی بررسی پایداری دو نظام کشت سنتی و مکانیزه کلزا به اثبات رسیده است، مقدار ماده آلی خاک حاصل تعادل بین سطح ماده آلی در خاک و میزان برون‌رفت این ماده از نظام در اثر فرسایش و آبشویی و همچنین تجریه و استفاده توسط ریزموجودات درون خاک است. حفاظت و ازدیاد مواد آلی خاک دشوار است، زیرا ۷۵ درصد مواد آلی صرف تأمین انرژی ریز موجودات خاک شده و به‌شکل دی اکسید کربن از خاک خارج می‌شود، و ۲۵ درصد باقی‌مانده مدت محدودی به‌شکل مواد آلی در خاک وجود خواهد داشت (Haynes & Naidu, 1998).

جریان‌های ورودی خریداری شده (F_R & F_N)

مقدار ورودی‌های خریداری شده در نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه روستا به‌ترتیب $۱/۴۹\times۱۰^{۱۸}$، $۳/۸۲\times۱۰^{۱۷}$ و $۳/۳۶\times۱۰^{۱۷}$ امژول خورشیدی در سال بود (جدول ۳)، که سهم به‌ترتیب ۴۹/۲۱، ۵۴/۱۱ و ۵۷/۷۱ درصدی از کل امرژی ورودی به این نظام‌ها است (شکل ۳). سهم نسبتاً پایین نهاده‌های خریداری شده نشان می‌دهد که غالب مزارع مورد مطالعه، نظام‌هایی غیرمکانیزه و سنتی هستند که با مصرف اندک نهاده‌های زراعی مانند کود شیمیایی، آب آبیاری، سموم شیمیایی و غیره مدیریت می‌شوند. مقایسه منابع خریداری شده نشان داد، علاوه‌بر اختلاف در مجموع امرژی ورودی‌های خریداری شده شامل، ساختار این ورودی‌ها نیز دارای تفاوت زیادی بود. این تفاوت در ارتباط مستقیم با نیازها و ویژگی‌های هر نظام است. در نظام‌های تولید گندم بیشترین سهم امرژی منابع خریداری شده با مقدار ۱۸/۷۰ درصد مربوط به کود دامی، در نظام‌های تولید جو با مقدار ۲۱/۱۴ درصد مربوط به کودهای شیمیایی اوره و در نظام‌های تولید یونجه با مقدار ۳۶/۸۶ درصد مربوط به کودهای فسفاته بود (شکل ۳).

جدول ٤- مقادیر شاخص‌های مبتنی بر امرژی نظام‌های مختلف تولید محصولات زراعی در روستای بلند

Table 4- Emergy-based different cropping production systems in Boland village

Emergy based indices شاخص‌های مبتنی بر امرژی	Unit واحد	Wheat گندم	Barley جو	Alfalfa یونجه
Transformity (Tr) ضریب تبدیل	sej J^{-1}	4.44E+05	3.80E+05	3.64E+05
Specific emergy (SpE) امرژی ویژه	sej g^{-1}	6.53E+09	5.51E+09	5.35E+09
Renewability (%R) تجدیدپذیری	درصد %	9.69	9.00	14.33
Emergy yield ratio (EYR) نسبت عملکرد امرژی		2.03	1.85	1.73
Standard emergy investment ratio (EIR) نسبت سرمایه‌گذاری استاندارد		0.97	1.18	1.36
Modified emergy investment ratio EIR* نسبت سرمایه‌گذاری اصلاح‌شده		9.04	9.25	4.67
Standard environmental loading ratio (ELR) نسبت بار زیست‌محیطی استاندارد		17.36	16.09	7.08
Modified environmental loading ratio ELR* نسبت بار زیست‌محیطی اصلاح شده		0.13	5.98	0.04
Standard environmental sustainability index (ESI) شاخص پایداری محیطی استاندارد		0.12	0.11	0.24
Modified environmental sustainability index (ESI*) شاخص پایداری محیطی اصلاح شده		15.62	0.31	41.02
Emergy exchange ratio (EER) نسبت مبادله امرژی		258.75	330.95	107.44
Environmental index of sustainable development (EISD) شاخص زیست‌محیطی توسعه پایدار		30.29	38.02	26.28
Emergy index of agricultural product safety (EIPS) شاخص انرژی ایمنی محصولات کشاورزی		0.50	0.38	0.26

شاخص‌های امرژی

مقایسه شاخص‌های امرژی بین نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه می‌تواند در بیان تفاوت‌های بین نظام‌های مورد مطالعه از جنبه‌های عملکردی مانند کارایی استفاده از منابع، تأثیرات محیطی و مزایای اقتصادی و همچنین برای تعیین بهترین عملیات مدیریتی جهت حرکت به‌سمت کشاورزی پایدار سودمند باشد. مقایسه و بررسی نتایج این شاخص‌ها علاوه‌بر کمک به افزایش قدرت رقابت در بازار باعث دستیابی به برآوردی واقعی و معقول از میزان جریان امرژی مصرفی در جهت تولیدات کشاورزی می‌گردد. با استفاده از این شاخص‌ها، امکان ارزیابی میزان بهره‌گیری نظام از جریان‌های منابع رایگان که طبیعت در اختیار ما قرار می‌دهد، ایجاد می‌شود.

شاخص‌های امرژی مخصوص (SpE) و ضریب تبدیل (Tr)

امرژی مخصوص (SpE)، برای ارزیابی امرژی موردنیاز در واحد زیست‌توده تولیدی نظام استفاده می‌شود. SpE، مقدار امرژی مصرفی برای تولید هر واحد زیست‌توده برحسب واحد جرم (گرم یا کیلوگرم) را بیان می‌کند (Zhang et al., 2012; Odum, 2000). هرچه زیست‌توده تولیدی در یک نظام تولید به جریان امرژی حمایت‌کننده کمتری در واحد سطح جهت تولید نیاز داشته باشد، SpE آن نظام کمتر است (Pizzigallo et al., 2008). مقدار SpE برای نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه به‌ترتیب $۶/۵۳\times۱۰^{۹}$، $۵/۵۱\times۱۰^{۹}$ و $۵/۳۵\times۱۰^{۹}$ امژول خورشیدی به‌ازای هر گرم محصول اقتصادی محاسبه گردید (جدول ۴). علت بیشتر بودن SpE گندم و جو نسبت به یونجه این است که در گندم و جو عملکرد اقتصادی تنها دانه و در یونجه تمام اندام‌های هوایی است. در مطالعه مونیلال و همکاران (Moonilall et al., 2020) نتایج مقایسه مقادیر SpE در شاهد و چهار تیمار اصلاحی افزودن ضایعات چغندرقند، بیوچار کود مرغی، بیوچار سبوس برنج و کود شیمیایی به‌ترتیب $۱/۷۳\times۱۰^{۱۰}$، $۳/۴۹\times۱۰^{۱۰}$، $۳/۲۲\times۱۰^{۱۰}$، $۱/۴۴\times۱۰^{۱۰}$ و $۱/۲۳\times۱۰^{۱۱}$ ام ژول خورشیدی به‌ازای هر گرم محصول اقتصادی گزارش شد. در این پژوهش علت بزرگی SpE در شاهد، مربوط به عملکرد کم آن نسبت به تیمارهای اصلاحی است. SpE محاسبه شده برای بوم‌نظام‌های موسیر در نظام زراعی حفاظتی و رویشگاه طبیعی در استان لرستان، ایران به‌ترتیب $۷/۰۵\times۱۰^{۹}$ و $۱/۵۸\times۱۰^{۹}$ امژول خورشیدی به‌ازای هر گرم محصول اقتصادی بود (Amiri et al., 2021). این مقادیر SpE نشان داد، در بوم‌نظام زراعی برای هر واحد زیست‌توده تولید موسیر حدود پنج برابر رویشگاه طبیعی، امرژی استفاده شده است.

در تحلیل امرژی برای بررسی بازده امرژی تولید محصولات مختلف از ضریب تبدیل (Tr) استفاده می‌شود (Brown & Ulgiati, 2004a). نظامی که امرژی ورودی کمتری در میزان مشابهی از تولید محصول برحسب ژول دارد بهینه‌تر است (Odum, 1996). هنگام مقایسه نظام‌های مختلف تولید با محصول یکسان، ضریب تبدیل کوچک‌تر نشان‌دهنده بهره‌وری بالاتر است، زیرا منابع کمتری برای تولید محصول نیاز است (Yang et al., 2013Odum, 1996 ;). مقادیر ارزش واحد امرژی در نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه به‌ترتیب $۴/۴۴\times۱۰^{۵}$، $۳/۸۰\times۱۰^{۵}$ و $۳/۶۴\times۱۰^{۵}$ امژول خورشیدی به ازای هر ژول محصول اقتصادی به‌دست آمد (جدول ۴). بالاتر بودن بازده امرژی نظام‌های تولید یونجه نسبت به گندم و جو را می‌توان به دلیل اینکه در یونجه عملکرد اقتصادی مساوی عملکرد بیولوژیک است و کمتر بودن امرژی ورودی نظام‌های یونجه نسبت به‌نظام‌های دیگر مرتبط دانست. علاوه‌بر آن، در نظام یونجه به‌دلیل تثبیت بیولوژیکی نیتروژن نیاز به کودهای نیترات و دامی جهت تأمین نیتروژن مصرفی گیاه کاهش یافته است. پایین بودن مقدار شاخص بازده امرژی نظام‌های تولید گندم و جو به‌علت استفاده بسیار زیاد از منابع امرژی ورودی خصوصاً در بخش امرژی منابع خریداری شده بود.

مقایسه مقادیر ضرایب تبدیل برای چهار نظام گلخانه‌ای مطالعه شده در جیرفت، ایران نشان داد که بهره‌وری امرژی ورودی نظام‌های تولید خیار به‌ترتیب ۴۳ درصد، ۸۸ درصد و ۷۳ درصد بیشتر از نظام‌های تولید گوجه‌فرنگی، فلفل‌دلمه‌ای و بادمجان بود (Asgharipour et al., 2020). با توجه به کمتر بودن تفاوت بین امرژی ورودی نظام‌ها نسبت به تفاوت در ضرایب تبدیل چهار نظام، دلیل اصلی کارآیی بیشتر امرژی ورودی نظام خیار، تولید بیشتر خیار در واحد سطح در مقایسه با سه نظام دیگر است. ضریب تبدیل نظام‌های مختلف تولید لوبیای خرم دشت، ایران با سطوح متفاوت امرژی‌های ورودی در دامنه مقادیر $۱/۷۱\times۱۰^{۵}$ تا $۳/۰۲\times۱۰^{۵}$ امژول خورشیدی به‌ازای هر ژول محصول اقتصادی گزارش شده است (Asgharipour et al., 2019).

درصد تجدیدپذیری امرژی (%R)

درصد تجدیدپذیری ورودی‌های امرژی توسط شاخص درصد تجدیدپذیری امرژی (%R) شرح داده می‌شود. نظام‌های تولیدی که مقدار بیشتری از امرژی مصرفی آن‌ها مربوط به منابع تجدیدپذیر است، در طول زمان احتمالاً پایدارتر هستند (Zhang & Long, 2010). %R نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه روستای بلند به‌ترتیب ۹/۶۹، ۹/۰۰ و ۱۴/۳۳ درصد محاسبه شد (جدول ۴). سهم بیشتر از منابع تجدیدناپذیر خصوصاً ماده آلی خاک در نظام‌های تولید جو باعث کاهش سهم منابع تجدیدپذیر شد و درصد تجدیدپذیری امرژی‌های ورودی را کاهش داده است. درصد تجدیدپذیری نظام‌های یونجه نسبت به نظام‌های گندم و جو زراعی بالاتر بود، که به‌علت کاهش مصرف منابع تجدیدناپذیر خصوصاً نهاده‌های شیمیایی و صنعتی و جایگزینی بخشی از آن با منابع درونی و همچنین تلفات کمتر مواد آلی و فرسایش خاک است.

نسبت عملکرد امرژی (EYR)

این شاخص نسبت کل امرژی مصرفی به امرژی نهاده‌هایی که خریداری شده‌اند را نشان می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر شاخص EYR، در واقع توانایی یک فرایند برای جذب منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر محلی با سرمایه‌گذاری روی منابع خریداری شده در یک نظام اقتصادی را نشان می‌دهد (Ulgiati & Brown, 2012). در EYR بالاتر، نسبت بالاتری از منابع رایگان امرژی در فرآیند تولید استفاده می‌شود (Zhang et al., 2012). حداقل مقدار این شاخص برابر است با یک و نشان‌دهنده شرایطی است که سهم نهاده‌های رایگان در تولید ناچیز است. EYR در نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه به‌ترتیب ۲/۰۳، ۱/۸۵ و ۱/۷۳ محاسبه شد (جدول ۴). دلیل بالاتر بودن EYR نظام‌های تولید گندم، استفاده کمتر این نظام‌ها از منابع محیطی و تأمین بخشی بزرگ‌تری از نهاده‌ها از منابع خریداری شده است.

شاخص EYR به‌دلیل اطلاعات ارزشمندی که در اختیار قرار می دهد، در بسیاری از مطالعات به‌عنوان یکی از شاخص‌های اصلی تحلیل امرژی گزارش گردیده است. به‌طور مثال، در مطالعه‌ای در نهبندان، شاخص EYR برای دو نظام تولید خرما (*Phoenix dactylifera*) و پسته (*Pistacia vera*) ۱۴/۳۹ و ۱۶/۰۳ محاسبه شد که به‌روشنی مقدار وابستگی زیاد این دو نظام به منابع رایگان محیطی را نشان می‌دهد (Jafari et al., 2018). مقادیر EYR برای نظام‌های اکولوژیک، تلفیقی، کم‌نهاده، متوسط نهاده و پرنهاده تولید لوبیا در ایران به‌ترتیب ۱/۲۸، ۱/۱۷، ۱/۲۸، ۱/۲۰ و ۱/۱۷ برآورد شده است (Asgharipour et al., 2019). مقادیرEYR به‌دست‌آمده برای سویا در جنوب توسکانی در کشور ایتالیا در محدوده ۱/۹۸–۲/۳۲ بود (Panzieri et al., 2000). همچنین برای محصول ذرت در کشور ایتالیا EYR در محدوده ۱/۱۹–۱/۵۳ بود (Ulgiati et al., 1994).

نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و نسبت بار محیط زیستی اصلاح شده (ELR*)

میزان فشار وارد شده بر محیط توسط شاخص‌های نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و نسبت بار محیط زیستی اصلاح شده (ELR*) بیان می‌شود. به بیان دیگر، این دو شاخص بیانگر میزان فشار اعمال شده از سوی نظام به محیط است، ELR از طریق محاسبه نسبت ورودی‌های خریداری شده به همراه ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی بر نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر و ELR* با تمرکز روی نسبت منابع تجدیدناپذیر به منابع تجدیدپذیر محاسبه می گردد (Ortega et al., 2002). افزایش مقدار شاخص‌های ELR و ELR* نشان‌دهنده فشار محیطی بیشتر بر اکونظام‌های محلی به‌علت استفاده از منابع تجدیدناپذیر است (Lu et al., Odum, 1996 ; 2014). در نظام‌های تولیدی گندم، جو و یونجه روستای بلند مقادیر ELR به‌ترتیب، ۱۷/۳۶، ۱۶/۰۹ و ۷/۰۸ بود (جدول ۴). همچنین مقادیر ELR* در این نظام‌ها به‌ترتیب ۰/۱۳، ۵/۹۸ و ۰/۰۴ محاسبه گردید. به‌طور کلی، ELR کمتر از دو نشان‌دهنده فشار محیطی نسبتاً کم، ELR بیشتر از دو و کمتر از ۱۰ نشان‌دهنده فشار متوسط محیطی و ELR بیش از ۱۰ نشانه فشار زیست‌محیطی بسیار بالا است (Brown & Ulgiati, 2004).

مقدار شاخص ELR در نظام‌های گندم و ذرت جنوب برزیل بالای ۱۰ گزارش گردید که نشان می‌دهد این نظام‌ها دارای تأثیرات محیطی زیادی هستند (Cavalett et al., 2006). مقدار شاخص ELR به‌دست آمده برای نظام تولید ذرت در شمال شرقی چین ۱۰/۶۲ گزارش گردید (Wang et al., 2014). همچنین شاخص ELR برای نظام‌های تلفیقی تولید غله، خوک، ماهی در جنوب کشور برزیل مقدار ۳/۱۳ بود (Cavalett et al., 2006).

نسبت سرمایه‌گذاری امرژی استاندارد (EIR) و اصلاح شده (EIR*)

شاخص EIR از نسبت ورودی‌های خریداری شده به ورودی‌های رایگان به‌دست می‌آید (Wang et al., 2014). شاخص EIR، اطلاعاتی راجع به کارایی نظام‌ها در استفاده از امرژی منابع سرمایه‌گذاری شده نسبت به امرژی منابع محیطی رایگان ارائه می دهد (Lan et al., 2002Odum, 1996;). مقدار کمتر این شاخص نشان‌دهنده وابستگی بیشتر نظام به منابع محیطی است (Wang et al., 2014). نسخه‌ای جدید از EIR که EIR* نامیده شده توسط امیری و همکاران (Amiri et al., 2018) با حذف مقادیر N از معادله EIR پیشنهاد گردید که هزینه‌های محیطی در ورودی‌های غیرقابل‌تجدید را لحاظ می‌کند.

نتایج بررسی جریان امرژی برای ورودهای خریداری شده در نظام‌های مورد مطالعه به‌ترتیب: گندم ($1/49\times10^{18}$ امژول خورشیدی در سال)> جو ($3/82\times10^{17}$ امژول خورشیدی در سال)> یونجه ($3/36\times10^{17}$ امژول خورشیدی در سال) است. با این‌حال، به‌دلیل اختلاف زیاد در مقدار نهاده‌های محیطی رایگان، روند شاخص EIR سه نظام ترتیب متفاوتی دارد: یونجه (۱/۳۶)> جو (۱/۱۸)> گندم (۰/۹۷). همچنین مقادیر شاخص EIR* به‌ترتیب زیر است: جو (۹/۲۵)> گندم (۹/۰۴)> یونجه (۴/۶۷). در مقایسه مقدار امرژی ورودی منابع محیطی در نظام‌های تولید گندم بسیار بیش‌تر از نظام‌های تولید جو و یونجه است؛ بنابراین، علت اختلاف در مقادیر EIR نظام‌ها با توجه اختلاف کم در مقادیر ورودی‌های خریداری شده، عمدتاً به‌دلیل تفاوت در مقادیر ورودی‌های محیطی است.

در مطالعه‌ای روی تیمارهای مختلف اصلاحی تولید ذرت شامل شاهد و چهار تیمار افزودن ضایعات چغندرقند، بیوچار کود مرغی، بیوچار سبوس برنج و کود شیمیایی مقادیر EIR به‌ترتیب ۲/۴۷، ۱/۶۲، ۱/۳۷، ۰/۶۳ و ۰/۶۰ گزارش شد (Moonilall et al., 2020). EIR برای نظام‌های تولید کلزا در واحدهای تجاری و سنتی به‌ترتیب ۹/۰ و ۸/۹۴ بود (Amiri et al., 2019). مقدار EIR برای نظام‌های تولید خرما و پسته شهرستان نهبندان در کشور ایران به‌ترتیب ۳/۱۷ و ۲/۹۳ به‌دست آمد، که نشان می‌دهد، منابع غیررایگان برای دو نظام به‌ترتیب ۳/۱۷ و ۲/۹۳ برابر نهاده‌های غیررایگان مصرف شده‌اند. مقادیر به‌دست آمد بیانگر وابستگی بیشتر به نهاده‌های غیررایگان بازاری در نظام تولید خرما و بهره‌برداری بیشتر نظام‌های تولید پسته از منابع رایگان است (Jafari et al., 2018).

شاخص پایداری محیط‌زیست استاندارد (ESI) و شاخص پایداری محیط‌زیست اصلاح شده (ESI*)

دو شاخص ESI و ESI* برای سنجش پایداری استفاده می‌شوند. به‌طورکلی، دو شاخص پایداری ESI و ESI* جهت آشنایی با فرایندهایی استفاده می‌شود که حداکثر استفاده از ورودی‌های محیطی رایگان همراه با حداقل تنش محیطی را دارا می‌باشند (Odum, 1996). در واقع، این شاخص‌ها پایداری مرتبط با اقتصاد و محیط را در نظر می‌گیرند. وضعیت ESI در یک نظام وابسته به مقدار شاخص‌های EYR و ELR است. با توجه به معادله ESI و ESI*، مقادیر بالاتر این شاخص‌ها را می‌توان با کاهش ورودی‌های خریداری شده تجدیدناپذیر به‌دست آورد. علاوه‌بر این، سطوح بالاتر ورودی‌های تجدیدپذیر محیطی منجر به مقادیر بالاتر شاخص‌های ESI و ESI* می‌شود. با فرض ثابت بودن ورودی‌های F_N و F_R، پایین بودن مقدار ELR به سهم بالای R و یا سهم کم N در جریان‌های ورودی یا هر دو عامل بستگی دارد. در نتیجه، مقادیر بالای شاخص ESI در نهایت، به سهم R و N از جریان‌های ورودی به نظام‌ها مربوط می‌شود. مقادیر ESI>5, 1-5, ESI<1 به‌ترتیب پایدار، نیمه پایدار و ناپایدار در نظر گرفته می‌شوند (Hu et al., Ulgiati & Brown, 1998; 2010).

مقادیر ESI محاسبه شده نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه به‌ترتیب برابر با ۰/۱۲، ۰/۱۱ و ۰/۲۴ بود. همچنین مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص ESI* نیز در نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه به‌ترتیب برابر با ۱۵/۶۲ و ۰/۳۱ و ۴۱/۰۲ بود (جدول ۴). نتایج به‌دست آمده از شاخص ESI نشان‌دهنده وضعیت ناپایدار برای تمام نظام‌های مورد مطالعه در روستای بلند بود. سهم بسیار زیاد ورودی خریداری شده در هر سه نظام علت این موضوع است. در نتایج به‌دست آمده از شاخص ESI* پایداری نسبت به شاخص ESI در کلیه نظام‌های موردمطالعه کمی بهبودیافته که با توجه به تغییر در نوع محاسبات قابل توجیه است.

مقادیر شاخص ESI در نظام‌های مکانیزه، سنتی، حفاظتی و طبیعی برای تولید موسیر در کشور ایران به‌ترتیب ۰/۰۴۸، ۰/۰۴۱، ۰/۰۲۵ و ۰/۳۰۶ محاسبه شد که نشان‌دهنده وضعیت ناپایدار در هر چهار نظام است. همچنین، در تحلیل پایداری این نظام‌ها توسط

شاخص ESI* به‌علت استفاده از ELR* در محاسبه نتایج کمی بهبود یافته و نشان داد نظام‌های سنتی و حفاظتی در مقایسه با نظام‌های مکانیزه پایدارتر هستند (Amiri et al., 2021). در ارزیابی نظام‌های تولید خرما و پسته در شهر نهبندان، ایران، مقادیر ESI نزدیک به یک بود که نشان می‌دهد هر دو نظام دارای خروجی امرژی بالا و نیاز کم به منابع تجدیدناپذیر هستند (Jafari et al., 2018). در پژوهشی که در ایران انجام شد، مقادیر ESI و ESI* برای نظام‌های تولید لوبیای غیرفشرده ۰/۰۸ و ۱/۴۸ محاسبه گردید که بیشترین مقدار در مقایسه با سایر نظام‌های مورد مطالعه بود (Asgharipour et al., 2019). مقادیر ESI و ESI* برای نظام تجاری تولید کلزا ۰/۷۳ و ۰/۷۵ و برای نظام معیشتی تولید کلزا ۰/۸۷، ۱/۳۸ گزارش شدند (Amiri et al., 2019).

نسبت مبادله امرژی (EER)

EER یک شاخص دو منظوره برای ارزیابی‌های امرژی و اقتصادی است (Odum, 1996). EER به‌عنوان نسبت بین کل امرژی مورداستفاده در تولید محصول به امرژی پول پرداختی برای فروش محصول (Y_M) تعریف می‌شود. Y_M با ضرب مقدار بهای فروش محصول در مقدار ضریب تبدیل پول به‌دست می‌آید. EER یک محصول، نه‌تنها ارزش بازاری یک محصول را نشان می‌دهد، بلکه تفاوت قیمت و ارزش پولی فروش محصول در بازارهای مختلف را بیان می‌کند. به بیان ساده‌تر، نظام با توجه به نحوه موازنه بین سود حاصل از فروش محصول در بازار و مقدار امرژی ورودی به‌نظام جهت تولید با استفاده از شاخص EER ارزیابی می‌شود (Lu & Campbell, 2009; Lu et al., 2006). اولجیاتی و براون، EER را به‌عنوان معیار مقایسه منافع تجاری نظام‌های تولیدی معرفی کردند (Brown & Ulgiati, 2004). به‌عبارت‌دیگر، EER به اندازه‌گیری سود فروشنده (تولیدکننده) و خریدار (مصرف‌کننده) در مبادله کالا کمک می‌کند. در شرایط ایده آل، EER برابر است با عدد یک (Agostinho et al., 2008). هنگامی‌که EER بزرگ‌تر از یک باشد، به خریدار منفعت بیشتری می‌رسد، زیرا خریدار بیش از امرژی پولی که برای خرید کالا پرداخت کرده، امرژی در غالب محصول دریافت می‌کند؛ و در مقابل فروشنده ضرر می‌کند، زیرا در هنگام فروش محصول، تولیدکننده به‌شکل پول، امرژی کمتری نسبت مقدار امرژی که صرف تولید محصول کرده به‌دست می‌آورد.

مقادیر EER برای نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه به‌ترتیب برابر بود با ۲۵۸/۷۵، ۳۳۰/۹۵ و ۱۰۷/۴۴ (جدول ۴). این نتایج نشان می‌دهد که تولید در هیچ کدام از نظام‌های تولیدی روستای بلند برای کشاورز منفعت ندارد. دلیل این شرایط را کاهش عملکرد اقتصادی نظام‌های مورد مطالعه در مقایسه با امرژی خریداری شده مصرفی و همچنین استفاده زیاد از نهاده‌های خارج مزرعه‌ای مانند کودهای شیمیایی که اکثراً هزینه‌بر هستند، می‌توان دانست. در نظام‌های گندم و جو و یونجه خریدار بسیار بیشتر از پول پرداختی امرژی دریافت می‌کند و پایداری این سه نظام دچار چالش جدی است. به‌دلیل نهاده‌های رایگان محیطی که در نظام‌های گندم و جو مصرف می‌شود، به‌خصوص خاک مقدار زیاد این شاخص افزایش‌یافته است. لازم به ذکر است که مقدار EER پایین‌تر در نظام‌های تولید یونجه تنها به دلیل سهم کمتر استفاده از منابع خریداری شده خصوصاً به‌دلیل تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و مصرف کم کودهای شیمیایی اوره و کودهای دامی است.

مقادیر EER ۴/۲، ۲/۵، ۲/۶، ۱/۹، ۳/۶، ۱/۸ و ۲/۵ به‌ترتیب در نظام‌های تولید لوتوس و ماهی، لوتوس و میگو، لوتوس، گواوا، پاپایا، موز، وامپی به‌دست آمده که نشان‌دهنده سطوح EER مطلوب و بالا است (Lu et al., 2009 and 2017). مقدار EER در مبادله سویا، علوفه بسته‌بندی غیرسویا و روغن بین برزیل و اروپا به‌ترتیب ۶/۷۰، ۵/۲۰ و ۵/۰۰ بود. به‌عبارت‌دیگر، در هنگام مبادله سویا و مشتقات آن از برزیل به اروپا، میزان امرژی منابعی که کشاورزان برای تولید سویا در کشور خود استفاده می‌کردند، تقریباً پنج برابر امرژی پول دریافتی بوده است. در حقیقت، در صادرات سویا از برزیل به اروپا، خریداران برنده می‌شوند و در نتیجه، اروپا در مقایسه با برزیل از این مبادله سود بیشتری می‌برد (Cavalett & Ortega, 2009).

شاخص امرژی سلامت تولید (EIPS)

شاخص امرژی سلامت محصول تأثیر کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها و داروها را بر امنیت محصول مورد بررسی قرار می‌دهد. هرچه EIPS بالاتر باشد، محصولات از سلامت بالاتر برخوردار هستند (Guan et al., 2016). شاخص EIPS برای نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه به‌ترتیب برابر با ۰/۵۰، ۰/۳۸ و ۰/۲۶ بود (جدول ۴). بر اساس نتایج به‌دست آمده، نظام‌های تولید گندم به‌دلیل وابستگی کمتر به نهاده‌های خریداری شده مانند، سموم شیمیایی

آفت‌کش و سوخت‌های فسیلی دارای بیشترین EIPS بود.

در پژوهش انجام شده در ایران، مقادیر EIPS برای نظام‌های مکانیزه، سنتی، حفاظتی و طبیعی تولید موسیر به‌ترتیب ۰/۸۸۳، ۰/۹۰۶، ۱/۰۰ و ۱/۰۰ بود (Amiri et al., 2021). در ارزیابی شاخص EIPS در نظام‌های تلفیقی برنج- اردک و تناوب گندم- برنج در شانگهای چین مقدار EIPS به‌ترتیب ۱/۰۰ و ۰/۳۴ گزارش شد (Xi & Qin, 2009). در مطالعه‌ای که در کشور چین جهت افزایش بهره‌وری نظام‌های تولید ذرت با توجه به اهمیت آن جهت تولید غذا انجام شد، دو مدل تولید پرورش غاز در مزارع ذرت و کاشت سنتی ذرت از نظر شاخص EIPS بررسی شدند. نتایج به‌دست آمده نشان داد، نظام تلفیقی پرورش غاز با مقدار ۰/۸۶ از شاخص EIPS بالاتری نسبت به‌نظام سنتی تولید ذرت با مقدار ۰/۷۰ برخوردار است (Sha et al., 2015).

نتیجه‌گیری

به‌دلیل افزایش تراکم جمعیت، و کاهش سرانه اندازه مزارع، همین‌طور افزایش رقابت برای زمین، آب و سایر منابع بیوفیزیکی و اقتصادی- اجتماعی در میان بخش‌های مختلف اقتصاد، اقدامات اصلاحی در استفاده از منابع به یک ضرورت برای فشرده‌سازی نظام‌های تولید محصولات زراعی تبدیل شده است. با توجه به کمبود روزافزون منابع و افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی، برای تأمین این تقاضا و همچنین حفاظت هم‌زمان از خدمات محیطی بوم نظام‌ها، تخصیص مناسب منابع ضروری است. انتخاب الگوی کشت محصولات زراعی در نظام‌های کشاورزی متنوع است و به مجموعه‌ای از عوامل بیوفیزیکی و اقتصادی بستگی دارد. این عوامل توسط منابع موجود و شیوه‌های مدیریتی کشاورزان تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

کشاورزی در سیستان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع امرار معاش روستائیان، دارای اهمیت بسیار است. در سیستان به‌علت شرایط سخت اقلیمی مانند گرمی هوا، کمبود نزولات آسمانی، کمبود آب‌های جاری، ماده آلی کم خاک، یافتن نظامی که دارای پایداری بیشتری در ابعاد تولیدی، اقتصادی، محیطی باشد از اهمیت بالایی برخوردار است. تحلیل پایداری نظام‌های تولیدی نیازمند روشی علمی و جامع است. روش آنالیز امرژی پاسخی به این نیاز مهم است. در این مطالعه، نظام‌های زراعی روستای بلند به‌عنوان یک نمونه قابل تعمیم برای سایر مناطق دشت سیستان در جهت یافتن مناسب‌ترین نظام تولیدی توسط شاخص‌های امرژی مورد ارزیابی قرار گرفت. در مجموع، ارزیابی‌های انجام شده بر اساس محاسبه شاخص‌های امرژی نشان داد که در نظام‌های کشاورزی غالب روستای بلند سیستان، توجه به راهکارهای عملی در مدیریت جامع نظام‌ها به‌ویژه حفاظت از مواد آلی خاک و پیشگیری از فرسایش خاک، می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر پایداری اکولوژیکی داشته باشد.

References

1. Abbasi, H. R., Gohardasht, A., Khaksarian, F., & Ganjali, M. (2017). Morphological features of wind sediments and erosive winds in Sistan plain. *Desert Management*, *5*, 28-42. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22092/DM.2017.109802
2. Agostinho, F., Diniz, G., Siche, R., & Ortega, E. (2008). The use of emergy assessment and the geographical information system in the diagnosis of small family farms in Brazil. *Ecological Modeling*, *210*, 37–57. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2007.07.007
3. Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., & Aghapour Sabaghi, M. (2020). Comparison of the sustainability of mechanized and traditional rapeseed production systems using an emergy-based production function: A case study in Lorestan province, Iran. *Journal of Cleaner Production*, *258*, 1-11. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120569
4. 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. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.163
5. Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., Azizi, K., & Kakolvand, E. (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. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126000
6. 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*, 1-17. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2020.109036

7. 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. *Journal of Environmental Monitoring and Assessments, 191*, 2. DOI: 10.1007/s10661-018-7123-3
8. 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.
9. Campbell, D.E., Brandt-Williams, S.L., & Meisch, M.E.A. (2005). Environmental Accounting Using Emergy: Evaluation of the State of West Virginia. EPA/600/R-02/ 011. USEPA, Office of Research and Development, Washington, DC, pp. 116.
10. Campbell, D.E., Lu, H.F., Knox, G.A., & Odum, H.T. (2009). Maximizing empower on a human-dominated planet: the role of exotic Spartina. *Ecological Engineering, 35*, 463–486.
11. Cavalett, O., & Ortega, E. (2009). Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. *Journal of Cleaner Production, 17*, 762–771. DOI: 10.1016/j.jclepro.2008.11.022
12. Cavalett, O., de 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.
13. Chen, F. (2011). Agricultural Ecology, second ed. China Agricultural University Press, Beijing. 312 p.
14. Clark, E.A.(2004). Benefits of re-integrating livestock and forages in crop production systems. *Journal of Crop Improvement, 12*(1-2), 405-436.
15. Colaco, A.F., Povh, F.P., Molin, J.P., & Romanelli, T.L. (2012). Energy assessment for variable rate nitrogen application. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 14*(3), 85-90. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.01.038
16. de Barros, J.M., Blazy, G.S. Rodrigues, R., & Tournebize, J.P. (2009). Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). *Agriculture, Ecosystems and Environment, 129*, 437–449. DOI: 10.1016/j.agee.2008.10.012
17. Fallahinejad, S. and Armin, M. (2022). Role of mechanization on the sustainability of sugar beet production using emergy approach. *Agriculture, Environment & Society, 2*(1), 15-24. DOI: 10.22069/ijpp.2020.17336.1259.
18. Fallahinejad, S., Armin, M. & Asgharipour, M.R. (2021). A survey on the ecological sustainability of introducing new crops in the cropping pattern using emergy approach. *Current Research in Environmental Sustainability, 3*, p.100083. DOI: 10.1016/j.crsust.2021.100083
19. Fallahinejad, S., Armin, M. & Asgharipour, M.R. (2022). The effect of farm size on the sustainability of wheat production using emergy approach. Current Research in Environmental Sustainability, 4, p.100161.
20. Franzluebbers, A.J., (2007). Integrated crop–livestock systems in the southeastern USA. *Agronomy Journal, 99*(2), 361-372.
21. Guan, F., Sha, Z., Zhang, Y., Wang, J., & Wang, C. (2016). Emergy assessment of three home courtyard agriculture production systems in Tibet Autonomous region, China. *Biomedicine Biotechnology, 17*(8), 628-639.
22. Haynes, R.J., & Naidu, R. (1998). Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems, 51*, 123-137.
23. Heidari, H., Katircioğlu, S. T., & Saeidpour, L. (2015). Economic growth, CO_2 emissions, and energy consumption in the five ASEAN countries. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 64*, 785-791.
24. Hu, S., Mo, X., Lin, Z. & Qiu, J. (2010). Emergy assessment of a wheat-maize rotation system with different water assignments in the North China Plain. *Environmental Management, 46*, 643-657. DOI: 10.1007/s00267-010-9543-x
25. Jafari, M., Asgharipour, M.R., Ramroudi, M., Galavi, & M. Hadarbadi, G. (2018). Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. *Journal of Cleaner Production, 193*, 642-651. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.05.089
26. Lan, S.F., Qin, P., & Lu, H.F. (2002). Emergy Assessment of Ecological Systems .Third Edition. Beijing China: Chemical Industry Press 76, 406–412.
27. Lu, H., & Campbell, D.E. (2009). Ecological and economic dynamics of the Shunde agricultural system under China's small city development strategy. *Journal of Environmental Management, 90*, 2589-2600. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.01.019
28. Lu, H., 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. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.07.025

29. Lu, H.F., Kang, W.L., Campbell, D.E., Ren, H., Tan, Y.W., Feng, R.X., Luo, J.T., & Chen, F.P. (2009). Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Ecological Engineering, 35*, 1743–1757. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.05.010
30. Lu, H.F., Tan, Y.W., Zhang, W.S., Qiao, Y.C., Campbell, D.E., Zhou, L., & Ren, H. (2017). Integrated emergy and economic evaluation of lotus-root production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Journal of Cleaner Production, 158*, 367-379. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.07.015
31. Lu, H.F., Yuan, Y., Campbell, D.E., Qin, P., & Cui, L. (2014). Integrated water quality, emergy and economic evaluation of three bioremediation treatment systems for eutrophic water. *Ecological Engineering, 69*, 244–254. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.05.010
32. Lu, P., Yu, Q., Liu, J., & Lee, X. (2006). Advance of tree-flowering dates in response to urban climate change. *Agricultural and Forest Meteorology, 138*, 120-131. DOI: 10.1016/j.agrformet.2006.04.002
33. McLaughlin, H., Shields, F., Jagiello, J., & Thiele, G. (2012). Analytical options for biochar adsorption and surface area. Particle Testing Authority, 15 pages. https://www.particletesting.com/wpcontent/uploads/2018/07/PTA-Analytical-Options-for-Biochar-Adsorption-and-Surface-Area. pdf
34. Moonilall, N.I., Homenauth, O., & Lal, R. (2020). Emergy analysis for maize fields under different amendment applications in Guyana. *Journal of Cleaner Production, 258*(120761), 1-29. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120761
35. Muzari, W. (2014). Interactions of biophysical and socioeconomic factors and outputs in mixed crop-livestock smallholder farming systems in Africa South of the Sahara. *International Journal of Science and Research, 5*(1), 1777-1787. DOI: 10.21275/23011603
36. Odum, H.T. (1996). Environmental Accounting: Emergy and Decision Making. Wiley, New York. 425 p.
37. Odum, H.T. (2000). Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios. Folio No. 2 e Emergy of Global Processes. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, FL, p. 28.
38. Odum, H.T., & Peterson, N. (1996). Simulation and evaluation with energy systems blocks. *Ecological Model, 93*, 155–173.
39. Ortega, E., Anami, M., & Diniz, G. (2002), September. Certification of food products using emergy analysis. In Proceedings of III International Workshop Advances in Energy Studies, 227-237.
40. Panzieri, M., Marchettini, N., & Hallam, T.G. (2000). Importance of the *Bradhyrizobium japonicum* symbiosis for the sustainability of a soybean cultivation. *Ecological Modelling, 135*, 301–310.
41. Pizzigallo, A.C.I., Granai, C., & Borsa, S. (2008). The joint use of LCA and emergy evaluation for the analysis of two Italian wine farms. *Journal of Environmental Management, 86*, 396–406.
42. Porsur, K. (2009). Comparative study of wind erosion potential in the Sistan agricultural and non-agricultural lands using IRIFR models**.** Master Thesis, University of Zabol, Iran. (In Persian with English Summary)
43. Quintero-Angel, M., & Gonzalez-Acevedo, A. (2018). Tendencies and challenges for the assessment 999 of agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystem and Environment, 254*, 273–281. DOI: 10.1016/j.agee.2017.11.023
44. Schulte, E.E., & Hopkins, B.G. (1996). Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. *Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation, 46*, 21-31.
45. Sha, Z., Guan, F., Wang, J., Zhang, Y., Liu, H., & Wang, C. (2015). Evaluation of raising geese in cornfields based on emergy analysis: A case study in southeastern Tibet, China. *Ecological Engineering, 84*, 485-491. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.10.012
46. Sneessens, I., Veysset, P., Benoit, M., Lamadon, A., & Brunschwig, G. (2016). Direct and indirect impacts of crop–livestock organization on mixed crop–livestock systems sustainability: A model-based study. *Animal, 10*(11), 1911-1922. DOI: 10.1017/S1751731116000720
47. Tavousi, T., & Raeispour, K. (2011). Statistical analysis and prediction of the occurrence of severe storms using the method. *Journal of Geographical Studies of Arid Areas, 1*(2), 93-105. (In Persian with English Summary)
48. Tzilivakis, J., Warner, D., May, M., Lewis, K., & Jaggard, K. (2005). An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems, 85*(2), 101-

119. DOI: 10.1016/j.agsy.2004.07.015.
49. Ulgiati, S., & Brown, M.T. (1998). Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modeling*, *108*(1-3), 23-36.
50. Ulgiati, S., & Brown, M.T. (2012). Resource quality, technological efficiency and factors of scale within the emergy framework: A response to Macro Raugei. *Ecological Modelling*, *227*, 109–111. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2011.11.019
51. Ulgiati, S., Odum, H., & Bastianoni, S. (1994). Emergy use, environmental loading and sustainability an emergy analysis of Italy. *Ecological Modelling*, *73*, 215–268.
52. Vandermeer, J. (2011). The ecology of agroecosystems. Jones & Bartlett Learning, 258 p.
53. Vassallo, P., Bastianoni, 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. DOI: 10.1016/j.ecolind.2006.02.003
54. Wang, X., Dadouma, A., Chen, Y., Sui, P., Gao, W., Qin, F., Zhang, J., & Xia, Wu, L. (2014). Emergy analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA. *Agricultural Systems*, *128*, 66-78. DOI: 10.1016/j.agsy.2014.03.002
55. Xi, Y.G., & Qin, P. (2009). Emergy evaluation of organic rice-duck mutualism system. *Ecological Engineering*, *11*, 1677-1683. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2009.06.013
56. Yang, Q., Chen, G.Q., Liao, S., Zhao, Y.H., Peng, H.W., & Chen, H.P. (2013). Environmental sustainability of wind power: An emergy analysis of a Chinese wind farm. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *25*, 229-239. DOI: 10.1016/j.rser.2012.11.052
57. Zhang, G., & Long, W. (2010). A key review on emergy analysis and assessment of biomass resources for a sustainable future. *Energy Policy*, *29*, 4111-4129. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.01.056
58. Zhang, M.M., Wang, Z.F., Xu, C., & Jiang, H. (2012). Embodied energy and emergy analyses of a concentrating solar power (CSP) system. *Energy Policy*, *42*, 232-238. DOI: 10.1016/j.enpol.2011.11.080
59. Zia Tavana, & M.H. (1992). Characteristics of the natural environment of Sistan hole. Geographical articles of Dr. Mohammad Hassan Ganji's celebration letter. Tehran. *Gitashenasi Publications*, 185 p. (In Persian)

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

Research Article
Vol. 15, No. 3, Fall 2023, p. 527-542

Evaluation of Cow Manure and Different Nitrogen Sources on Yield and Nitrogen Use Efficiency in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.)

Roya Saeedi[1], Azam Seyedi[2], Bahareh Parsa Motlagh[3]* and Hossein Shekofteh[4]

Received: 26-09-2021
Revised: 13-02-2022
Accepted: 22-02-2022
Available Online: 22-02-2022

How to cite this article:
Saeedi, R., Seyedi, A., Parsa Motlagh, B., & Shekofteh, H. (2023). Evaluation of cow manure and different nitrogen sources on yield and nitrogen use efficiency in safflower (*Carthamus tinctorius* L. *Journal of Agroecology, 15(3),527-542.*
DOI: 10.22067/agry.2022.72719.1068

Introduction

One of the major factors restricting the crop production is nitrogen. Nitrogen has an important role in achieving maximum yield and improves crop yield and quality (Ullah et al., 2010). In the arid and semi-arid regions of Iran, the deficiency of organic matter in the soil as the natural resource required by the plant and the moisture tension are the major factors of absorbing nitrogen, and after moisture tension, nitrogen tension is the major limiting factor of crop production (Sadri, 2017). Nitroxin fertilizer contains nitrogen-fixing bacteria that fix the air nitrogen, balance the high-consumption and micronutrient elements, synthesis and secretion plant growth stimulants, and as a result, plant protection against pathogens, biological and non-biological stresses. One way to examine the efficiency of fertilizers, especially nitrogen, is by studying nitrogen use efficiency. This indicator shows the increase in yield by each unit increase in the input (Delbert and Ulter, 1989). One way to manage different nutritional resources is to evaluate the nitrogen use efficiency. This study aims to evaluate the function and indicators of nitrogen efficiency in manure treatments and different resources of nitrogen in safflower.

Material and Methods

This experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications in the research farm of the faculty of agriculture at the University of Jiroft in 2018-2019. The first factor included different sources of nitrogen fertilizer in six levels of urea fertilizer, urea with sulfur coating, ammonium nitrate, nitroxin, nano nitrogen, and control; the second factor included animal manure in two levels of consumption and non-consumption was considered. The intra-row and inter-row distance was 30 and 10 cm, respectively, with 2×3 m^2 plot size. Drip irrigation was used, and during the different plant growth stages, no chemical pesticide and herbicide was used; nitrogen of seed, leaf, and shoot was carried out using Kjeldhal method. Data were analyzed by SAS software version 9.4. Mean values were compared according to the Duncan test at $P < 0.05$.

Results and Discussion

The results showed that manure and different resource of nitrogen has a significant effect on the seed yield, seed nitrogen percentage, biomass, plant nitrogen content, the efficiency of use, physiological, absorption, productivity, and nitrogen harvest index in safflower. The highest nitrogen in seed (3.46%), biomass (1.05%), seed yield (284 $g.m^{-2}$), seed nitrogen content (1138.8 $g.m^{-2}$), and biomass nitrogen content (752.5 $g.m^{-2}$) obtained in manure + nitroxin treatment. The results indicated the positive and significant effect of manure and biological fertilizer on the improvement of yield and nitrogen efficiency. The interaction of manure and different nitrogen fertilizers on seed

1- M.Sc. Student of Agroecology, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.
4- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.
(*- Corresponding author's Email: bparsam@ujiroft.ac.ir)

yield was significant. The highest and lowest seed yields were obtained by manure + nitroxin treatment (284 $g.m^{-2}$) and not using manure and control treatment (68.3 $g.m^{-2}$), respectively. In safflower, using nitrogen fertilizers can increase seed yield by affecting plant branches (Weiss, 2000). The researchers reported that using nitrogen, compared to control (not using nitrogen) increased safflower seed yield. According to the results, manure treatment compared to not using manure treatment showed 24.3% increase in seed nitrogen. Nitroxin and nano nitrogen fertilizers have the highest seed nitrogen percentage (3.46 and 3.21, respectively), and the lowest nitrogen was in the control treatment (1.9%). Manure + nitroxin treatment had the highest nitrogen in biomass and plant. In safflower, manure increased the absorbed nitrogen percentage compared to the control treatment (Ghanbari et al., 2016). In this regard, the researchers observed the increase in absorption efficiency and use of nitrogen in saffron using organic fertilizers compared to chemical fertilizers. The results of this research showed that using biological fertilizers, especially nitroxin, has a positive effect in increasing seed number in plant, seed yield, days to maturing, nitrogen percent, absorbed phosphorous by plant, and nitrogen physiological efficiency (Arab-Niasar et al., 2019).

Conclusion

The results of this experiment showed that using manure and biological fertilizer improves nitrogen efficiency compared to not using manure conditions. It seems that combined manure with chemical fertilizers reduces the loss and washing of nutritional elements, especially nitrogen. The use of organic fertilizers to improve soil structure, maintain water, and access to required elements by plants should be considered as a priority. Regarding the highest yield in manure + nitroxin treatment, it is suggested to use nitrogen fertilizers with biological origin.

Keywords: Biofertilizer, Nitrogen harvest index, Nitrogen percentage, Nitrogen productivity

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۵۴۲-۵۲۷

تأثیر کود گاوی و منابع مختلف تأمین‌کننده نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)

رؤیا سعیدی[۱]، اعظم سیدی[۲]، بهاره پارسامطلق[۳]* و حسین شکفته[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۳

چکیده

به‌منظور ارزیابی کود گاوی و منابع تأمین‌کننده نیتروژن بر جذب و کارایی مصرف نیتروژن در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت اجرا شد. تیمارها شامل منابع تأمین‌کننده نیتروژن در شش سطح (کود اوره، اوره با پوشش گوگرد، نیترات آمونیوم، نیتروکسین، نانو نیتروژن و شاهد) و کود گاوی در دو سطح (صفر و ۱۰ تن در هکتار) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد، تیمار کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر عملکرد دانه، درصد نیتروژن دانه، درصد نیتروژن زیست‌توده و درصد نیتروژن کل بوته، محتوی نیتروژن اندام‌های مختلف گیاه، کارایی مصرف نیتروژن، کارایی فیزیولوژیک، کارایی جذب، بهره‌وری نیتروژن و شاخص برداشت نیتروژن گلرنگ معنی‌دار بود. بیشترین درصد نیتروژن دانه (۳/۴۶)، زیست‌توده (۱/۰۵)، عملکرد دانه (۲۸۴ گرم در مترمربع)، محتوی نیتروژن دانه (۱۱۳۸/۸ گرم در مترمربع) و محتوی نیتروژن زیست‌توده (۷۵۲/۵ گرم در مترمربع) در تیمار کود گاوی + کود نیتروکسین به‌دست آمد. همچنین، بیشترین کارایی مصرف نیتروژن (۱۱/۳ گرم بر گرم) و جذب نیتروژن (۱۲/۹۱ گرم بر گرم) در تیمار کود گاوی + کود نانو نیتروژن مشاهده شد که با تیمار کود گاوی + کود نیتروکسین تفاوت معنی‌داری نداشت. در بین منابع مختلف، نیتروژن مصرف کود گاوی و کودهای زیستی نسبت به کودهای شیمیایی شاخص بهره‌وری و کارایی مصرف نیتروژن بیشتری داشتند، از این‌رو بر اساس نتایج این پژوهش، جهت دستیابی به حداکثر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن و متعاقب آن کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌توان از کود گاوی و کودهای نیتروکسین و نانو نیتروژن جهت کشت گلرنگ در منطقه جیرفت استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری نیتروژن، درصد نیتروژن، شاخص برداشت نیتروژن، کود زیستی

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی متعلق به خانواده کاسنی[۵]، گیاهی یک‌ساله که ارتفاع آن ۱۲۰-۲۰ سانتی‌متر (Tahmasbpour et al., 2017) محتوای روغن دانه حدود ۲۷ تا ۴۰ درصد، محتوای پروتئین ۱۹-۱۵ درصد و میوه‌های آن شبیه میوه‌های

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد رشته اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایران.
۲- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایران.
۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایران.
۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: bparsam@ujiroft.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2022.72719.1068

5- Asteraceae

آفتابگردان و از نوع فندقه یا آکن می‌باشد (Emongor, 2010). سازمان خواروبار کشاورزی جهانی[1] سطح زیر کشت گلرنگ در دنیا را حدود ۱/۱۴ میلیون هکتار، با تولید تقریباً ۹۵۰ هزار تن و عملکرد حدود ۸۳۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کرده است (FAO, 2018). کشورهای هند، ایالات‌متحده آمریکا، مکزیک، استرالیا و اتیوپی مجموعاً ۸۵ درصد سطح زیر کشت این گیاه را به خود اختصاص داده‌اند (Damodaram & Hegde, 2002). سطح زیر کشت گلرنگ در ایران ۲۲۸۵۱ هکتار، با تولید ۱۵۹۰ تن و عملکرد حدود ۳۹۸ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Agricultural Iran Statistics, 2019).

نیتروژن یکی از عوامل عمده محدودکننده تولید گیاهان زراعی است. این عنصر در بهبود عملکرد و کیفیت همه گیاهان زراعی مؤثر است. در طول پنج دهه گذشته، مصرف جهانی نیتروژن تقریباً هشت برابر شده است (Wu et al., 2016) و پیش‌بینی می‌شود که مصرف کودهای نیتروژنی در سراسر جهان تا سال ۲۰۳۰ به حدود ۱۴۲ میلیون تن برسد که ۳۷/۵ درصد افزایش نسبت به حال حاضر خواهد داشت (Motesharezadeh et al., 2017). از سوی دیگر، افزایش مصرف کود نیتروژن با کاهش کارایی مصرف نیتروژن همراه خواهد بود (Hussain et al., 2018). مطالعات بلندمدت نشان می‌دهند که استفاده بیش‌ازحد کودهای شیمیایی، عملکرد گیاهان زراعی را به‌واسطه اسیدی شدن خاک، کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی، کاهش خصوصیات فیزیکی خاک و عدم وجود ریزمغذی‌ها کاهش داده است (Adediran et al., 2004). از طرفی، افزایش رو به رشد جمعیت و مشکلات اقتصادی ناشی از هزینه کودهای شیمیایی از یک سو و مسائل زیست‌محیطی مصرف بی‌رویه این کودها از سویی دیگر، سبب شده که استفاده از شیوه‌های زیستی تثبیت عناصر برای تقویت رشد گیاهان بیشتر مورد توجه قرار گیرد (Karami Chame et al., 2016; Fathi et al., 2016).

کود بیولوژیک نیتروکسین حاوی مؤثرترین باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* می‌باشد که علاوه‌بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف مورد نیاز گیاه، با سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه مانند اکسین، همچنین ترشح اسیدهای آمینه مختلف سبب رشد و توسعه ریشه و اندام‌های هوایی گیاه می‌گردد (Arab-Niasar et al., 2019).

پژوهشگران در تحقیقی افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه گلرنگ را در تیمار مصرف کود نیتروکسین نسبت به شاهد مشاهده کردند (Moghimi & Yousefi Rad., 2013). در شرایط تنش گیاه آفتابگردان استفاده از کودهای زیستی توانست به‌صورت نسبی عملکرد بیشتری را نسبت به کودهای شیمیایی و آلی حاصل کند (Izan et al., 2020).

نانو کودها جایگزین‌های مناسبی از کودهای مرسوم برای تأمین تدریجی و کنترل‌شده عناصر غذایی در خاک به‌شمار می‌روند که موجب کاهش آلایندگی مواد شیمیایی شده و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است (Qureshi et al., 2018). همچنین پژوهش‌های انجام شده روی تأثیر نانو کودها در افزایش تولید محصولات کشاورزی از طریق بهبود کارایی جذب کود تأکید دارند (Scott et al., 2018).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، کمبود مواد آلی در خاک به‌عنوان منبع طبیعی نیتروژن موردنیاز گیاه و وجود تنش رطوبتی، به‌عنوان مانع اصلی جذب نیتروژن همواره مطرح بوده است (Sedri, 2017). یکی از ارکان اساسی کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف حذف یا کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی است (VtJnvnl et al., 1975). همچنین، استفاده از کودهای زیستی از مؤثرترین شیوه‌های مدیریتی برای حفظ کیفیت خاک در سطح مطلوب محسوب می‌گردد (Burelle et al., 2006; Fathi et al., 2013). یکی از کودهای زیستی مورد مطالعه در سال‌های اخیر، نیتروکسین است. این کود حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌باشد که موجب تثبیت نیتروژن هوا، تعادل جذب عناصر اصلی پرمصرف و ریزمغذی، سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه و در نتیجه، حفاظت از گیاه در مقابل عوامل بیماری‌زا و تنش‌های زیستی و غیر زیستی می‌گردد (Arab-Niasar et al., 2019).

بر اساس مطالعات انجام شده، نیتروکسین نسبت به سایر کودهای زیستی بیشترین تأثیر را روی وزن هزار دانه، وزن خشک گیاه و وزن اندام هوایی گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus*) داشت (Pirasteh Anosheh et al., 2010). پژوهشگران در تحقیقی، افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه گلرنگ را در تیمار مصرف کود

1- Food and Agriculture Organization

نیتروکسین نسبت به شاهد مشاهده کردند (Moghimi & Yousefi Rad., 2013). در تحقیقی دیگر، استفاده از کودهای زیستی عملکرد بیشتری را نسبت به کودهای شیمیایی و آلی در گیاه آفتابگردان و در شرایط تنش ایجاد کرد (Izan et al., 2020). یکی دیگر از راهکارهای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش حاصلخیزی خاک، استفاده از کودهای آلی از جمله کودهای دامی است (Kamayestani et al., 2015). کودهای دامی در ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی اهمیت قابل توجهی دارا می‌باشند (Warman & Termeer, 2005) علاوه‌بر اثرات مثبت در ساختمان خاک، بستر مناسبی جهت انجام فرایندهای زیستی خاک فراهم می‌کنند (Chandra et al., 2005). در تحقیقی، مشخص شد که استفاده از کودهای دامی موجب افزایش عملکرد دانه و زیست‌توده گیاه گلرنگ شد (Ghanbari et al., 2016). همچنین در تحقیقی دیگر، مصرف کودهای دامی عملکرد دانه و روغن را در گلرنگ افزایش داد (Rezvani Moghaddam et al., 2015).

از راه‌های سنجش بهره‌وری کودها، به‌ویژه نیتروژن، بررسی کارایی مصرف نیتروژن است. این شاخص نشان‌دهنده افزایش عملکرد به‌ازای افزایش هر واحد نهاده است (Delbert & Ulter, 1989). اکثر شیوه‌های مناسب جهت برآورد کارایی مصرف نیتروژن وابسته به گیاه، تولید محصول و فرآیندهای مرتبط با آن است (Pathak et al., 2008). کارایی مصرف نیتروژن در واقع نشان‌دهنده توانایی گیاه در شکل‌گیری عملکرد دانه و یا بیولوژیک به‌ازای هر واحد نیتروژن موجود در خاک می‌باشد (Salvagiotti et al., 2009). در سیستم‌های مدرن کشاورزی، افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن با هدف افزایش تولید در واحد سطح، کاهش هزینه‌های تولید و نیز مخاطرات زیست‌محیطی یک ضرورت بوده و حائز اهمیت ویژه‌ای است، علاوه‌بر توانایی گیاه در جذب نیتروژن خاک، کارایی مصرف نیتروژن می‌تواند تحت تأثیر نوع منبع تأمین‌کننده این عناصر نیاز قرار گیرد (Seyyedi et al., 2015). کارایی جذب نیتروژن در واقع نیتروژن جذب شده در بوته به‌ازای هر واحد نیتروژن موجود در خاک می‌باشد. طیف نسبتاً وسیعی از عوامل ژنتیکی و نیاز استراتژی‌های مدیریتی می‌توانند بر کارایی جذب و مصرف نیتروژن در گیاهان زراعی تأثیرگذار باشند (Guarda et al., 2004). با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد در رابطه با نیتروژن ورودی نقش مدیریت زراعی مانند تقسیط مصرف کود، همزمانی زمان مصرف کود با نیاز گیاه و در مجموع، افزایش کارایی مصرف نیتروژن که بیشتر متکی بر مدیریت زراعی هستند، حائز اهمیت می‌باشد (Tavakoli Kakhki et al., 2020). نتایج تحقیقی نشان داد که تأثیر نیتروکسین بر کارایی زراعی مصرف نیتروژن در شرایط عدم مصرف کودهای زیستی در گیاهان گندم (*Triticum sativum*) و جو (*Hordeum vulgare*) بالاتر بود. عدم تأثیر نیتروکسین در کنار مصرف کودهای آلی می‌تواند به‌دلیل تأمین کافی نیتروژن و یا سایر عناصر غذایی توسط باکتری‌های مؤثر بر رشد موجود در این منابع کودی باشد. به‌طوری‌که ممکن است منجر به عدم نیاز و یا کاهش نیاز گیاه به ارتباطات همزیستی شود (Ozturk et al., 2003). به‌طور کلی، در شرایط محدودتر بودن نیتروژن موجود در خاک، گیاه از نیتروژن باقیمانده در خاک با کارایی بالاتری استفاده می‌کند. معمولاً کارایی جذب نیتروژن با افزایش میزان کاربرد نهاده‌های کودی کاهش می‌یابد (Delogu et al., 1998). محققان در بررسی تأثیر منابع آلی، شیمیایی و بیولوژیک نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گزارش کردند که شاخص کارایی جذب و کارایی مصرف نیتروژن در هر سه کود آلی (کود دامی، کمپوست و ورمی‌کمپوست) در مقایسه با کود اوره افزایش یافت. محققان دلیل کاهش کارایی مصرف نیتروژن در کود اوره در مقایسه با کودهای آلی را آزاد شدن سریع‌تر و شسته شدن بیشتر نیتروژن عنوان کردند (Rezvani Moghaddam et al., 2014).

یکی از راه‌های مدیریت منابع مختلف تغذیه‌ای، ارزیابی کارایی مصرف نیتروژن می‌باشد. با توجه به اثرات آلایندگی کودهای شیمیایی و افزایش هزینه‌های تولید، جایگزین کردن کودهایی با منبع آلی و زیستی می‌تواند در کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی و افزایش کارایی مصرف کودها مؤثر باشد. لذا، این تحقیق با هدف، تأثیر کود گاوی و منابع مختلف تأمین‌کننده نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در گیاه گلرنگ در منطقه جیرفت اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی، ۴۷ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اول شامل منابع مختلف کود نیتروژن در شش سطح کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن)، اوره با پوشش

گوگرد (۳۰ درصد)، نیترات آمونیوم (۲۵ درصد نیتروژن)، نانو نیتروژن (۱۷ درصد)، نیتروکسین (حاوی باکتری‌های *آزوسپیریلوم* و *ازتوباکتر* با تعداد 10^8 سلول زنده در هر میلی‌لیتر بر اساس شرکت سازنده) و شاهد (بدون مصرف کود نیتروژن)، عامل دوم شامل کود گاوی در دو سطح (صفر و ۱۰ تن در هکتار) در نظر گرفته شد. کاشت گلرنگ رقم اصفهان در نیمه دوم آبان با فاصله بین ردیف و بین بوته به‌ترتیب ۳۰ و۱۰ سانتی‌متر در کرت‌های به ابعاد ۳×۲ مترمربع انجام شد. کود اوره با پوشش گوگردی قبل از کاشت و کودهای نانونیتروژن، اوره و نیترات آمونیوم به‌صورت تقسیط در سه مرحله کاشت، روزت و ساقه دهی استفاده گردید. کود زیستی نیتروکسین به‌صورت تلقیح با بذر به کار رفت. آبیاری به‌صورت قطره‌ای بود. طی مراحل مختلف رشد گیاه هیچ‌گونه آفت‌کش و علف‌کش شیمیایی استفاده نگردید. نتایج آزمون نمونه‌برداری خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱-خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of the experiment site

بافت Texture	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	ماده آلی Organic matter (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل‌دسترس Available P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل‌دسترس Available k ($mg.kg^{-1}$)
لوم- سیلتی Silt-loam	0.559	8.1	0.11	0.008	5.6	133.3

بر اساس نتایج آزمون خاک، میزان ۱۳۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هر هکتار با توجه به نیاز گیاه گلرنگ در نظر گرفته شد. با توجه به منابع مختلف تأمین‌کننده نیتروژن، مقدار کود اوره، نیترات آمونیوم و اوره با پوشش گوگردی به‌ترتیب ۲۸۲، ۵۲۰ و ۴۳۳ کیلوگرم در هکتار محاسبه و در کرت‌ها استفاده شد. نمونه‌های مورد نیاز جهت تعیین درصد نیتروژن به‌طور جداگانه برای هر تیمار از مجموعه وزن خشک اندام‌های تفکیک شده این گیاه شامل دانه، ترکیب برگ و ساقه به‌عنوان زیست‌توده در هر کرت تهیه شد. به‌منظور تعیین درصد نیتروژن اندام‌های گیاه گلرنگ از دستگاه کجلدال استفاده شد. برای تعیین شاخص‌های مختلف کارایی نیتروژن از معادله‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ استفاده شد (Parsa et al., 2009).

معادله (۱): کارایی جذب نیتروژن[1]

$$NUPTE\ (\%) = SNY_F \times 100/N_F$$

معادله (۲): کارایی فیزیولوژیک نیتروژن[2]

$$NUTE = SY_F/SNY_F$$

معادله (۳): کارایی مصرف نیتروژن[3] $NUE = SY_F/N_F$

معادله (۴): شاخص برداشت نیتروژن[4] $NHI = Ng/Nt \times 100$

معادله (۵): محتوی نیتروژن دانه $Ng = N_s \times W_s$

معادله (۶): محتوی نیتروژن زیست‌توده $Nt = N_b \times W_b$

1- Nitrogen uptake efficiency
2- Nitrogen physiological efficiency
3- Nitrogen use efficiency
4- Nitrogen harvest index

در این معادله، NUPTE: کارایی جذب نیتروژن، SNY_F: عملکرد دانه (گرم در مترمربع)، N_F: محتوی نیتروژن خاک شامل نیتروژن موجود در خاک و نیتروژن مصرفی (گرم در مترمربع) می‌باشد، NUTE: کارایی فیزیولوژیک نیتروژن بر حسب عملکرد دانه، SY_F: عملکرد دانه (گرم بر مترمربع)، SNY_F: محتوی نیتروژن زیست‌توده (گرم در مترمربع)، NUE: کارایی مصرف نیتروژن، SY_F: عملکرد دانه (گرم در مترمربع) N_F: محتوی نیتروژن خاک (گرم در مترمربع)، NHI : شاخص برداشت نیتروژن، Ng: محتوی نیتروژن دانه (گرم در مترمربع)، Ns: درصد نیتروژن دانه، Ws: وزن خشک دانه (گرم در مترمربع)، Nt: محتوی نیتروژن زیست‌توده (گرم در مترمربع)، Nb: درصد نیتروژن زیست‌توده، Wb: وزن خشک زیست‌توده (گرم در مترمربع). درصد نیتروژن مصرفی خاک از اختلاف درصد نیتروژن خاک قبل کشت و پس از برداشت گیاه حاصل شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 انجام شد. همچنین مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال آماری پنج درصد مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد دانه: اثر متقابل کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب از تیمار مصرف کود گاوی + نیتروکسین و عدم مصرف کود گاوی و شاهد حاصل شد (جدول ۳). در گیاه گلرنگ استفاده از کودهای حاوی نیتروژن می‌تواند از طریق تأثیر بر تعداد انشعابات و در نتیجه، تعداد طبق در بوته افزایش عملکرد دانه را در پی داشته باشد (Weiss, 2000). کود زیستی نیتروکسن حاوی *ازتوباکتر* علاوه‌بر تأثیر مثبت مستقیم، سبب افزایش جذب مواد معدنی در گیاه نیز می‌شود (Sumbul et al., 2020). محققان گزارش کردند که کاربرد نیتروژن در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد نیتروژن) سبب افزایش عملکرد دانه گلرنگ گردید و این افزایش عملکرد را به‌علت اثر نیتروژن بر فتوسنتز، مقدار فتوآسمیلات‌هایی که به‌وسیله گیاه تولید می‌شود، تسهیم ماده خشک و رشد و نمو اندام‌ها دانستند (Dordas & Sioulas, 2008). کود گاوی با فراهمی مواد آلی، از طریق حفظ رطوبت خاک و محیط مناسب فعالیت باکتری‌های مفید کود زیستی نیتروکسین سبب بهبود رشد گیاه و عملکرد دانه گلرنگ شده است.

درصد نیتروژن اندام‌های گیاه: اثر کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر درصد نیتروژن دانه، زیست‌توده و کل بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به نتایج، تیمار مصرف کود گاوی نسبت به تیمار عدم مصرف کود گاوی، ۲۴/۳ درصد افزایش در میزان درصد نیتروژن دانه داشت، همچنین کود نیتروکسین و نانونیتروژن بیشترین درصد نیتروژن دانه را داشتند (به‌ترتیب ۳/۴۶ و ۳/۲۱ درصد) و کمترین مقدار آن در نیتروژن مشاهده شد (۱/۹ درصد) (جدول ۴). تیمار مصرف کود گاوی + کود نیتروکسین دارای بیشترین مقدار درصد نیتروژن زیست‌توده و کل بوته بود که با تیمار کود گاوی + کود نانونیتروژن اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین میزان آن مربوط به تیمار عدم مصرف کود گاوی + شاهد بود (جدول ۳). با توجه به نتایج، استفاده از کود گاوی در هر منبع کود نیتروژن باعث افزایش مقدار درصد نیتروژن زیست‌توده و کل بوته شده است. درصد نیتروژن موجود در اندام‌های مختلف گیاه تحت تأثیر میزان ماده خشک، مقدار و نوع منبع مورداستفاده قرار گرفت. در رابطه با افزودن کود دامی به خاک می‌توان اظهار داشت، افزایش مواد آلی خاک، از طریق قدرت جذب، نگهداری و فراهمی رطوبت شرایط جذب بهتر عناصر غذایی از جمله عنصر نیتروژن را فراهم نموده و به دنبال آن، موجب افزایش درصد این عنصر در اندام‌های مختلف گیاه شده بود. در پژوهشی، با مصرف کود دامی، درصد نیتروژن جذب شده نسبت به نیتروژن در گیاه گلرنگ افزایش یافت (Ghanbari et al., 2016). با افزایش فراهمی و قابلیت دسترسی نیتروژن، مقدار نیتروژن جذب شده نیز افزایش خواهد یافت (Hajghani and Galavand, 2015).

محتوی نیتروژن اندام‌های گیاه: اثر متقابل کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر محتوی نیتروژن دانه، زیست‌توده و کل بوته در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در تیمار کود گاوی به همراه کود نیتروکسین بیشترین محتوی نیتروژن دانه، زیست‌توده و کل بوته حاصل شد و در تیمار عدم مصرف کود گاوی در شاهد کمترین مقدار حاصل شد (جدول ۳). با توجه به اینکه محتوی نیتروژن اندام‌های مختلف گلرنگ از حاصل‌ضرب درصد نیتروژن اندام و ماده خشک تولیدی آن در واحد سطح به‌دست می‌آید، این نتیجه افزایش نیتروژن جذب شده گلرنگ در اثر کاربرد کود گاوی و قابلیت دسترسی منبع نیتروژن مصرفی نیز دور از انتظار نمی باشد. به‌دلیل این که افزایش قابلیت جذب نیتروژن توسط گیاه، سبب افزایش درصد نیتروژن و افزایش ماده خشک تولیدی گلرنگ در واحد سطح می‌شود. کود گاوی با حفظ رطوبت خاک توانست جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن را افزایش دهد و از طریق افزایش درصد نیتروژن و عملکرد گیاه، محتوی نیتروژن زیست‌توده افزایش یافت.

محققان در بررسی کاربرد کود گاوی و شیمیایی در گیاه گلرنگ مشاهده کردند با مصرف کود گاوی درصد نیتروژن جذب شده نسبت به نیتروژن افزایش یافت (Ghanbari et al., 2016). در پژوهش دیگری، با افزایش میزان قابلیت دسترسی نیتروژن، مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه نیز افزایش یافت (Hajghani and Galavand, 2015). در تحقیقی که به‌منظور مقایسه اثر سطوح مختلف کودهای آلی (کود گاوی و ورمی‌کمپوست) و شیمیایی (اوره) بر شاخص‌های کارایی نیتروژن در اسفرزه (*Plantago ovata*) انجام گرفت، مشخص شد با افزایش مقدار کود، درصد و محتوای نیتروژن زیست‌توده افزایش یافت (Nasirzadeh et al., 2015).

نیتروژن خاک بعد از برداشت و نیتروژن مصرفی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که نیتروژن خاک بعد از برداشت و نیتروژن مصرفی به‌طور معنی‌داری (در سطح آماری یک درصد) تحت تأثیر کود گاوی، منابع مختلف کود نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفتند (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد، تیمار مصرف کود گاوی نسبت به تیمار عدم مصرف کود گاوی از لحاظ درصد نیتروژن خاک بعد از برداشت گیاه ۳۳ درصد افزایش داشت (جدول ۳). پاسخ این شاخص به نوع منابع مختلف کود نیتروژن متفاوت بود. به‌طوری‌که نتایج اثرات متقابل نشان داد، بیشترین درصد نیتروژن خاک بعد از برداشت (۰/۳۶ درصد) در تیمار مصرف کود گاوی + کود اوره با پوشش گوگرد به‌دست آمد و کمترین میزان آن مربوط به تیمار عدم مصرف کود گاوی + اوره (۰/۱۴ درصد) بود (جدول ۳).

جدول ۲ - تجزیه واریانس تأثیر کود گاوی و منابع مختلف نیتروژن بر صفات مورد مطالعه گلرنگ

Table 2- Analysis of variance the effect of cow manure and different sources of nitrogen on studied traits in safflower

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares								
		عملکرد دانه Seed yield	درصد نیتروژن دانه Seed N (%)	درصد نیتروژن زیست‌توده Biomass N (%)	درصد نیتروژن کل بوته Plant N (%)	محتوی نیتروژن دانه Seed N content	محتوی نیتروژن زیست‌توده Biomass N content	محتوی نیتروژن کل بوته Plant N content	نیتروژن خاک بعد از برداشت Postharvest N	نیتروژن مصرفی Consumed N
تکرار Replication	2	485.8^{ns}	0.11^{ns}	0.007^{ns}	0.18^{ns}	2533.1^{ns}	5538.7^{ns}	15262.8^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0001^{ns}
کود گاوی Cow manure (M)	1	11918.7**	3**	0. 25 **	5 **	445630.1**	35015.5**	1509993.2**	168.12**	0.0256**
منابع مختلف کود نیتروژن Sources of N (N)	5	18199.6**	2.05 **	0.084 **	2.83 **	404424.5**	121200.0**	953349.2**	0.024**	0.0249**
کود گاوی× منابع نیتروژن M×N	5	4412.5**	0.21 ^{ns}	0.037*	0.39 *	71946.9**	32968.4**	198280.3**	0.012**	0.0128**
خطا Error	22	154.7	0.11	0.009	0.124	3641.6	3259.8	7239.9	0.0001	0.00015
ضریب تغییرات CV (%)		7.9	12.8	13.9	10.4	13.3	15.6	10.8	6.6	6.9

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر صفات مورد مطالعه گلرنگ

Table 3- Mean of comparison of the effect of cow manure and different sources of nitrogen on studied traits in safflower

تیمار Tretment	منابع کود نیتروژن Sources of N	عملکرد دانه Seed yield ($gr.m^{-2}$)	درصد نیتروژن زیست‌توده Biomass N (%)	نیتروژن کل بوته Plant N (%)	محتوی نیتروژن دانه Seed N content ($g.m^{-2}$)	محتوی نیتروژن Biomass N content ($g.m^{-2}$)	محتوی نیتروژن بوته Plant N content ($g.m^{-2}$)	نیتروژن خاک بعد از برداشت Postharvest N (%)	نیتروژن مصرفی Consumed N (%)
کود گاوی Cow manure	شاهد Control	131.6^{f*}	0.61^{e}	2.8^{e}	150^{f}	191.2^{g}	397.4^{fg}	0.22^{d}	0.212^{d}
	اوره با پوشش گوگرد Urea with sulfur coating	187.1^{cd}	0.8^{bd}	3.9^{bc}	580.5^{c}	485.8^{c}	1066.4^{c}	0.36^{a}	0.352^{a}
	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	164.4^{e}	0.83^{bc}	3.29^{de}	404.6^{d}	454.8^{cd}	1769.5^{cd}	0.12^{gh}	0.112^{gh}
	نیتروکسین Nitroxin	284.0^{a}	1.05^{a}	5.05^{a}	1138.8^{a}	752.5^{a}	1891.4^{a}	0.25^{c}	0.248^{c}
	نانو نیتروژن Nano nitrogen	228.1^{b}	0.88^{ab}	4.46^{ab}	817.7^{b}	624.3^{b}	1442.0^{b}	0.19^{e}	0.188^{e}
	اوره Urea	121.7^{fg}	0.62^{e}	3.08^{de}	297.1^{e}	245.9^{fg}	543.0^{ef}	0.11^{gh}	0.108^{gh}
بدون کود گاوی No cow manure	شاهد Control	68.3^{h}	0.43^{f}	2^{f}	213.3^{ef}	184.0^{g}	341.3^{g}	0.13^{fg}	0.122^{fg}
	اوره با پوشش گوگرد Ammonium nitrate	105.6^{g}	0.7^{ce}	3.05^{de}	246.7^{ef}	744.7^{fg}	486.3^{efg}	0.14^{f}	0.135^{f}
	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	113.5^{fg}	0.77^{bd}	3.27^{de}	286.3^{e}	879.7^{ef}	573.0^{e}	0.14^{f}	0.138^{f}
	نیتروکسین Nitroxin	205.0^{c}	0.63^{e}	3.55^{cd}	592.7^{c}	1293.2^{cd}	965.0^{cd}	0.28^{b}	0.278^{b}
	نانو نیتروژن Nano nitrogen	174.1^{de}	0.62^{e}	3.48^{cd}	496.7^{cd}	1093.6^{de}	828.6^{d}	0.14^{f}	0.135^{f}
	اوره Urea	105.6^{g}	0.63^{e}	2.7^{e}	217.8^{ef}	670.4^{fg}	435.6^{efg}	0.13^{h}	0.092^{h}

* در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر درصد نیتروژن دانه و بهره‌وری نیتروژن در گلرنگ

Table 5- Mean of comparison of the effect of cow manure and different sources of nitrogen on seed nitrogen percent and nitrogen productivity in safflower

تیمار Tretment	نیتروژن دانه Seed N (%)	بهره‌وری نیتروژن N productivity ($g.g^{-1}$)
کود گاوی Cow manure	2.96 [a]	38.87[a]
بدون کود گاوی No cow manure	2.38[b]	32.08[b]
شاهد Control	1.9[d]	30.20[b]
اوره با پوشش گوگرد Urea with sulfur coating	2.72[b]	31.64[b]
نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	2.48[bc]	32.7[b]
نیتروکسین Nitroxin	3.46[a]	47.53[a]
نانو نیتروژن Nano N	3.21[a]	40.64[ab]
اوره Urea	2.26[cd]	30.12[b]

نیتروژن مصرفی از اختلاف درصد نیتروژن قبل از کاشت گیاه و پس از برداشت گیاه محاسبه شد. برهم‌کنش اثرات متقابل نشان داد که بیشترین مقدار نیتروژن مصرفی (۰/۳۵درصد) در تیمار مصرف کود گاوی + کود اوره با پوشش گوگرد به‌دست آمد و کمترین میزان آن مربوط به تیمار عدم مصرف کود گاوی + اوره (۰/۰۹ درصد) بود (جدول ۳). در رابطه با کود اوره معمولی نیتروژن در معرض خطر آبشویی، حرکت توده‌ای و عدم جذب قرار دارد، از این رو نانوکودها و کودهای پوشش‌دار و کودهای زیستی در مقایسه با کودهای شیمیایی رایج می‌توانند به‌صورت مطلوب در مرحله مناسبی از رشد، عناصر غذایی خود را آزاد کنند و مطابق با نیاز گیاه خصوصیات رشدی را بهبود بخشند. در پژوهشی، میزان آبشویی کود اوره معمولی نسبت به کودهای اوره با پوشش گوگردی، نانوکلات نیتروژن گوگرددار و نانو کلات نیتروژن بیشتر بود (Bayat et al., 2017). تلفات نیتروژن به‌صورت گاز آمونیاک با استفاده از کود اوره با پوشش گوگردی بسیار کمتر از سایر منابع کودی است و به همین دلیل جذب نیتروژن توسط گیاه افزایش می‌یابد (Malakooti & Baba Akbari, 2005). به نظر می‌رسد، کود اوره با پوشش گوگردی علاوه‌بر تأمین نیاز نیتروژن گیاه (به‌طول معمول ۳۰ تا ۴۰ درصد نیتروژن) با دارا بودن لایه گوگرد از آبشویی نیتروژن تا حد زیادی جلوگیری می‌کند.

کارایی مصرف نیتروژن: نتایج نشان داد، اثر کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد، بیشترین شاخص کارایی مصرف نیتروژن در تیمار کود گاوی + نیتروکسین و کمترین آن در تیمار عدم مصرف کود گاوی + شاهد حاصل شد (جدول ۶). با توجه به اینکه کارایی مصرف نیتروژن از نسبت مقدار دانه تولیدشده به محتوی نیتروژن خاک به‌دست می‌آید، با افزایش مقدار دانه تولید شده، کارایی مصرف کود نیز افزایش یافت (Rabiei & Tousi Kahel, 2011). به نظر می‌رسد، منابعی از نیتروژن که قابلیت جذب بیشتری داشته باشند، علاوه‌بر فراهم کردن نیتروژن مورد نیاز گیاه به‌دلیل افزایش رشد اندام‌های هوایی و عملکرد مطلوب منجر به دستیابی بیشترین کارایی این عنصر در گیاه شوند.

کارایی جذب نیتروژن: اثر متقابل کاربرد کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر کارایی جذب نیتروژن گیاه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین مقدار کارایی جذب نیتروژن در تیمار کود گاوی + نانونیتروژن و نیتروکسین (۱۲/۹۱ و ۱۱/۱۹ گرم نیتروژن جذب شده به گرم نیتروژن موجود در خاک) حاصل شد و کمترین آن مربوط به تیمار مصرف کود گاوی + شاهد بود (جدول ۶). طیف نسبتاً وسیعی از عوامل ژنتیکی و نیاز روش‌های

مدیریتی می‌توانند بر کارایی جذب و مصرف نیتروژن در گیاهان زراعی تأثیرگذار باشند (Guarda et al., 2004). در کنار مصرف بهینه نهاده‌های کودی، کاهش تلفات نیتروژن از خاک نیز از عوامل مؤثر جهت افزایش کارایی جذب نیتروژن می‌باشد. مصرف نیتروژن در زمان مناسب و بر حسب نیاز گیاه، شیوه صحیح مصرف کود نیتروژن، مصرف نیتروژن از منابع آلی و جایگزینی نهاده‌های آلی به‌جای کودهای شیمیایی از جمله مهم‌ترین راهکارها جهت افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن به‌شمار می‌رود. در این ارتباط، محققان، افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن در زعفران را در نتیجه مصرف منابع کود آلی نسبت به کود شیمیایی مشاهده نمودند. این محققین، دلیل این افزایش را ناشی از تلفات کمتر نیتروژن از خاک درنتیجه مصرف کمپوست و کود دامی در مقایسه با کود شیمیایی دانستند (Khoocheki & Seyyedi, 2016).

به‌طور کلی، برتری کودهای آلی نسبت به کودهای شیمیایی از نظر جذب نیتروژن و افزایش عملکرد می‌تواند ناشی از فراهمی متعادل‌تر عناصر غذایی در خاک بر حسب نیاز گیاه، افزایش سطح مواد آلی و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و نیز آبشویی کمتر عناصر غذایی در طی زمان باشد (Limon-Ortega et al., 2008). از آن‌جا که آزادسازی نیتروژن و نیز سایر عناصر غذایی در کودهای دامی هماهنگ با نیاز گیاه است، با به‌کارگیری کودهای آلی می‌توان افزایش کارایی این عناصر را امکان‌پذیر نمود. همان‌طور که پیش‌تر اشاره گردید، در بین تیمارهای مربوط به کودهای نیتروژن کود بیولوژیک نیتروکسین نقش معنی‌داری در افزایش کارایی کود در این گیاه داشت. به‌طور کلی، در شرایط محدودتر بودن نیتروژن موجود در خاک، گیاه از نیتروژن باقی‌مانده در خاک با کارایی بالاتری استفاده می‌کند. معمولاً کارایی جذب نیتروژن با افزایش میزان کاربرد نهاده‌های کودی کاهش می‌یابد (Delogu et al., 1998). پژوهشگران در بررسی تأثیر منابع آلی، شیمیایی و بیولوژیک نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن سیاهدانه بیان کردند که شاخص کارایی جذب و کارایی مصرف نیتروژن در هر سه کود آلی (کود گاوی، کمپوست و ورمی‌کمپوست) به‌طور معنی‌دار بیش از کود اوره است (Rezvani Moghaddam et al., 2014). نتایج مطالعه‌ای نشان داد استفاده از کود کمپوست دامی جذب نیتروژن را در گیاه کلزا (*Brassica napus*) افزایش داد (Akbari and Modares, 2019). به نظر می‌رسد کاهش کارایی مصرف نیتروژن در تیمار کود اوره در مقایسه با کودهای آلی احتمالاً در نتیجه آزاد شدن سریع‌تر و شسته شدن بیشتر نیتروژن در این کودها باشد.

جدول ۵- تجزیه واریانس (مربعات میانگین) تأثیر کود گاوی و منابع مختلف نیتروژن بر شاخص‌های کارایی نیتروژن در گلرنگ

Table 5- Analysis of variance (mean of squares) the effect of cow manure and different nitrogen sources on nitrogen efficiency indexes

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	کارایی مصرف نیتروژن N use efficiency	کارایی جذب نیتروژن N uptake efficiency	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن N physiological efficiency	بهره‌وری نیتروژن Nproductivity	شاخص برداشت نیتروژن N harvest index
تکرار Replication	2	0.17^{ns}	0.490^{ns}	30.75^{ns}	141.15^{ns}	1.80^{ns}
کود گاوی Cow manure (M)	1	20.79^{**}	0.019^{ns}	1411.73^{**}	414.8^{**}	150.1^{*}
منابع کود نیتروژن Sources of N (N)	5	26.33^{**}	28.13^{**}	235.51^{*}	1459.3^{**}	150.5^{**}
کود گاوی× منابع نیتروژن M×N	5	4.46^{**}	27.83^{**}	261.08^{*}	445.9^{ns}	140.1^{**}
خطا Error	22	0.83	1.18	66.04	867.5	31.7
ضریب تغییرات CV (%)	-	12.19	12.43	17.57	17.6	14.5

^{ns}، * و**: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر شاخص‌های کارایی نیتروژن گلرنگ

Table 6- Mean comparisons of interaction of manure and different nitrogen sources on nitrogen efficiency traits of safflower

تیمار Treatment	منابع مختلف کود نیتروژن Sources of N	کارایی مصرف نیتروژن N use efficiency(g.g^{-1})	کارایی جذب نیتروژن N uptake efficiency (%)	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن N physiologic efficiency(g.g^{-1})	شاخص برداشت نیتروژن N harvest index (%)
کود گاوی Cow manure	شاهد Control	5.57^{cde*}	3.00^{f}	38.59^{c}	22.8^{e}
	اوره با پوشش گوگرد Urea with sulfur coating	5.11^{de}	5.08^{de}	38.64^{c}	39.3^{abcd}
	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	8.47^{b}	10.74^{b}	37.12^{c}	32.4^{de}
	نیتروکسین Nitroxin	10.82^{a}	11.19^{ab}	38.15^{c}	45.3^{ab}
	نانو نیتروژن Nano	11.30^{a}	12.91^{a}	36.54^{c}	41.5^{abcd}
	اوره Urea	8.35^{b}	9.75^{b}	50.77^{bc}	39.9^{abcd}
بدون کود گاوی No cow manure	شاهد Control	4.29^{e}	9.63^{b}	63.27^{a}	45.4^{ab}
	اوره با پوشش گوگرد Ammonium nitrate	6.10^{cde}	6.99^{cd}	44.11^{bc}	35.7^{bcd}
	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	6.05^{cd}	7.38^{c}	39.79^{c}	34.3^{cd}
	نیتروکسین Nitroxin	6.45^{cd}	6.94^{cde}	55.85^{b}	46.7^{a}
	نانو نیتروژن Nano	10.16^{a}	11.67^{ab}	52.55^{bc}	44.8^{abc}
	اوره Urea	7.04^{bc}	9.78^{b}	49.38^{bc}	35.0^{bcd}

* در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to the Duncan test.

محققان در بررسی کارایی مصرف نیتروژن در گیاه گندم نیز گزارش کردند، اعمال روش‌هایی که منجر به کاهش سرعت آزاد شدن عناصر از کودهای شیمیایی شود، می‌تواند علاوه‌بر افزایش رفع نیاز گیاه به این عنصر، منجر به افزایش کارایی مصرف نیتروژن شود ضمن آن‌که آزاد شدن سریع نیتروژن در کود اوره را در کاهش کارایی جذب نیتروژن در گیاهان مؤثر دانستند (Yang et al., 2011). با توجه به آن که افزایش کارایی استفاده از عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن نقش مهمی در بهبود عملکرد پایدار اکوسیستم‌های زراعی دارد (Weih et al., 2011)، اعمال کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی می‌تواند در توسعه عملکرد پایدار در گلرنگ مؤثر باشد. بیشتر بودن کارایی جذب نیتروژن در کودهای نانو نسبت به دیگر کودهای مورد استفاده نشان‌دهنده این موضوع است که نانو نیتروژن با کاهش سرعت هدر رفت عنصر سبب جذب بیشتر توسط ریشه گیاه شده و منجر به کارایی بیشتر آن نسبت به کودهای شیمیایی رایج شده است. نانو کودها کارایی مصرف بالایی دارند و به‌صورت مطلوب قادرند عناصر غذایی خود را در ناحیه مناسب رشد ریشه آزاد کنند (Sureshbabu et al., 2016). در پژوهشی، محققان افزایش کارایی نیتروژن را در کودهای نانو نیتروژن نسبت به اوره گزارش کردند (Bayat et al., 2017).

اثر متقابل کاربرد کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). در بین منابع مختلف کود نیتروژن، بیشترین میزان کارایی فیزیولوژیک در تیمار عدم مصرف کود گاوی + شاهد ۶۳/۲۷ گرم عملکرد دانه به‌ازای گرم نیتروژن جذب شده حاصل شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۶). کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در واقع نشان‌دهنده میزان استفاده بهینه گیاه از مقدار عنصر

غذایی جذب‌شده توسط ریشه‌های آن گیاه می‌باشد. بنابراین، صرف جذب مقدار معینی از یک عنصر غذایی نمی‌تواند معیاری جهت تعیین میزان تأثیرگذاری یک یا چند تیمار باشد. در بین ترکیب‌های تیماری، تیمارهای تلقیح با نیتروکسین و نانو نیتروژن در شرایط عدم مصرف کود گاوی به‌ترتیب با ۵۵/۸۵ و ۵۲/۵۵ گرم عملکرد دانه بر گرم نیتروژن جذب شده علاوه‌بر بالا بودن مقدار نیتروژن جذب شده از خاک نسبت به سایر ترکیب‌های تیماری، شرایط به‌گونه‌ای بوده که گیاه توانسته است، بیشترین استفاده و کاربری را از نیتروژن جذب شده داشته باشد. یعنی شرایط برای تولید مقدار بیشتری از مواد فتوسنتزی و همچنین تولید عملکرد بیشتری فراهم شده است. همچنین، کود اوره با قابلیت آبشویی در این پژوهش با افزایش قابلیت در دسترس بودن نیتروژن، میزان آن در زیست‌توده افزایش‌یافته، لذا کارایی فیزیولوژیک آن کاهش یافت. در آزمایشی دیگر، با افزایش میزان مصرف کود دامی از ۲۰ به ۴۰ تن در هر هکتار مقدار کارایی فیزیولوژیک نیتروژن از ۷/۶ به ۸/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم افزایش یافت (Ghanbari et al., 2016). محققان به‌ترتیب بیشترین و کمترین کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) را در تیمار تلقیح با نیتروکسین+ مصرف کود دامی و تیمار عدم مصرف کودهای آلی و زیستی (شاهد) گزارش کردند. همچنین، نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد کودهای زیستی به‌خصوص کود نیتروکسین اثر مثبتی در افزایش تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه، تعداد روز تا رسیدگی بوته، درصد نیتروژن، مقدار فسفر جذب شده توسط بوته و کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن دارد (Arab-Niasar et al., 2019).

بهره‌وری نیتروژن: اثر کود دامی و منابع مختلف کود نیتروژن بر بهره‌وری نیتروژن در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که مصرف کود گاوی سبب افزایش ۲۱/۲ درصدی بهره‌وری نیتروژن نسبت به عدم مصرف کود گاوی (شاهد) شد (جدول ۴). همچنین اثر ساده منابع کود نیتروژن حاکی از آن بود که بیشترین بهره‌وری نیتروژن در تیمار نیتروکسین و نانونیتروژن و کمترین در اوره مشاهده شد که با تیمارهای اوره با پوشش گوگرد و نیترات آمونیوم تفاوت آماری معنی‌داری نداشت (جدول ۴). با افزایش مصرف کودهای شیمیایی معمولاً از طریق هدرروی و آبشویی آن‌ها و یا از طریق تأثیرات نامطلوبی که روی ساختمان خاک به‌وجود می‌آورند، کارایی مصرف کود کاهش می‌یابد. امّا چنانچه کودهای شیمیایی به همراه کودهای دامی به‌صورت تلفیقی مورد استفاده قرار گیرند، تأثیر مثبت بسیار زیادی بر کارایی مصرف کودها خواهند داشت (Ghanbari et al., 2016). در پژوهشی، سطوح مختلف کودهای آلی از نظر کارایی جذب و بهره‌وری نیتروژن در مقایسه با کودهای شیمیایی برتری داشتند (Asadi et al., 2014).

شاخص برداشت نیتروژن: نتایج نشان داد که، شاخص برداشت نیتروژن تحت تأثیر کود گاوی، منابع مختلف کود نیتروژن و اثرات متقابل آن‌ها در سطح آماری یک درصد قرار گرفت (جدول ۵). بیشترین شاخص برداشت نیتروژن (۴۶/۷ درصد) مربوط به تیمار عدم مصرف کود گاوی + نیتروکسین بود. این شاخص از نسبت محتوی نیتروژن دانه به زیست‌توده کل محاسبه می‌شود. در این پژوهش، با افزایش قابلیت دسترسی مقدار نیتروژن، رشد رویشی گیاه افزایش و شاخص برداشت نیتروژن کاهش یافت (جدول ۶). بالا بودن شاخص برداشت نیتروژن در تیمارهای مورد مطالعه، مربوط به عملکرد دانه بیشتر گلرنگ بود. کمترین میزان شاخص برداشت نیتروژن در مصرف کود گاوی + شاهد به‌دست آمد. با توجه به این که شاخص برداشت نیتروژن از نسبت نیتروژن دانه به کل جذب نیتروژن گیاه (نیتروژن دانه و زیست‌توده) برآورد می‌شود، لذا با افزایش قابلیت جذب نیتروژن مصرفی، کل جذب نیتروژن گلرنگ (نیتروژن دانه و زیست‌توده) نسبت به نیتروژن دانه افزایش بیشتری یافته و منجر به کاهش شاخص برداشت نیتروژن می‌گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که مصرف کود گاوی به همراه منابع مختلف کود نیتروژن نسبت به شاهد، عملکرد دانه، درصد نیتروژن و محتوی نیتروژن اندام‌های مختلف گلرنگ افزایش یافت. بهره‌وری، مصرف و جذب کود زیستی نیتروکسین و نانو نیتروژن در مقایسه با کودهای شیمیایی بیشتر بود، هر چند مصرف کود گاوی نسبت به عدم مصرف آن این شاخص‌ها را بهبود بخشید. بنابراین، می‌توان بیان کرد، در صورت مصرفت منابع تغذیه‌ای شیمیایی، مصرف تلفیقی کود گاوی به همراه کودهای شیمیایی باعث کاهش هدرروی و میزان آبشویی عناصر غذایی خصوصاً نیتروژن می‌شود. با توجه به بیشترین عملکرد در تیمار مصرف کود گاوی + نیتروکسین و نانو نیتروژن، به‌منظور تأمین عنصر نیتروژن گیاه، منابع تغذیه‌ای زیستی نیتروژن در منطقه جیرفت پیشنهاد می‌گردد.

References

1. Adediran, J.A., Taiwo, L.B., Akande, M.O., Sobulo, R.A., & Idowu, O.J. (2004). Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. *Journal of Plant Nutrition*, *27*, 1163-1181. https://doi.org/10.1081/PLN-120038542
2. Agricultural Iran Statistics. (2019). https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/Amarnamehj3-1398-site.pdf.
3. Akbari, H., & Modares Sanavy, S.A.M. (2019). Effects of Nutritional Management on Yield, Nitrogen Use Efficiency, Soil Organic Carbon and Nitrogen in Canola-Wheat Crop Rotation. *Journal of Agroecology*, *10*(4), 1245-1257. (In Persian with English Summary) https:// 10.22067/JAG.V10I4.63624.
4. Arab-Niasar, L., Mirzakhani, M., & Nozad Namin, K. (2019). Evaluation of nitrogen efficiency and grain yield of white bean under combined application of organic and biological fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *29*(3), 1-11. (In Persian with English Summary) https://sid.ir/paper/180593/fa
5. Asadi, G.A., Momen, A., Nurzadeh Namaghi, M., & Khorramdel, S. (2014). Effects of organic and chemical fertilizer rates on nitrogen efficiency indices of isabgol (*Plantago Ovata* Forsk.). *Journal of Agroecoology*, *5*(4), 373-382. (In Persian with English Summary) https://sid.ir/paper/211303/fa
6. Bayat Varkeshi, M., Hamid Zareabyaneh, H., & Mahdavi, S. (2017). Effect of nitrogen nanofertilizers and urea on yield and nitrogen efficiency in potatoes. *Journal of Agroecology*, *7*(1), 81-95. (In Persian with English Summary) https://sid.ir/paper/254784/fa
7. Burelle, N., Kloepper, J.W., & Reddy, M.S. (2006). Plant growth promoting rhizobacteria as transplant amendments and their effects on indigenous rhizosphere microorganisms. *Applied Soil Ecology*, *31*, 91-100. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.03.007
8. Chandra, K. (2005). Organic manures. *Regional Centre of Organic Farming*, *34*, 6-46. https://rvskvv.net/images/Organic-Manures_20.04.2020.pdf
9. Damodaram, T., & Hegde D.M. (2002). Oilseeds situation: a statistical compendium. Directorate of Oilseeds Research, Rajendranagar, Hyderabad India, 486 p. https://icar-iior.org.in/oilseeds-compendium
10. Deibert, E.J., & Ulter, R.A. (1989). Sunflower growth and nutrient uptake: Response of tillage system, hybrid maturity and weed control method. *Soil Science Journal*, *53*, 133-138. https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300010025x
11. Delogu, G., Cattivelli, L., Pecchioni, N., De Falcis, D., Maggiore, T., & Stanca, A.M. (1998). Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *European Journal of Agronomy*, *9*, 11–20. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(98)00019-7
12. Dordas, C.A., & Sioulas, C. (2008). Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rain conditions. *Field Crops Research*, *27*(1), 75-85. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.07.020
13. Emongor, V.E., Oagile, O., & Kedikanetswe, B. (2013). Effects of plant population on growth, development and oil yield of safflower. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *3*, 321-333. http://:10.17660/ActaHortic.2015.1077.3
14. FAO (Food and Agriculture Organization). (2018). FAOSTAT. http://www.fao.org/faostat /en/#data/QC
15. Fathi, A., Farnia, A., & Maleki, A. (2013). Effects of nitrogen and phosphate biofertilizers on yield and yield components of corn AS71 in Dareh-shahr climate. *Journal of Crop Ecophysiology*, *7-1*(25), 105-114. (In Persian with English Summary) https://sid.ir/paper/182741/fa
16. Fathi, M., Mohebbi, M., & Koocheki, A. (2016). Introducing *Prunus cerasus* gum exudates: Chemical structure, molecular weight, and rheological properties. *Food Hydrocolloids*, *61*, 946-955. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.07.004
17. Ghanbari, M., Mirzakhani, M., Faridhashmi, S. A. (2016). Physiological efficiency response of safflower nitrogen to the consumption of animal and chemical fertilizers in Kashan region. *Journal of Plant Environmental Physiology*, *11(41):* 53-64. (In Persian).20.1001.1.76712423.1395.11.41.5.8
18. Guarda, G., Padovan, S., & Delogu, G. (2004). Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy*, *21*, 181–192. https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.08.001
19. Hajghani, M., & Galavand, A. (2015). The response of safflower seed quality characteristics to organic and chemical fertilization. *Biological Agriculture & Horticulture*, *32*(2),1-9. https:// 10.1080/01448765.2015.1094674
20. Hazeri Niri, H., Tobeh, A., Gholipouri, A., Mostafaei, H., & Jamaati-E-Somarin, S. (2010). The effect of nitrogen and phosphorous rates on fertilizer use efficiency in lentil. *World Applied Sciences Journal*, *9*(9), 1043-1046.

http://www.idosi.org/.../13.pdf
21. Hirel, B., Martin, A., Terce-Laforque, T., Gonzalez-Moro, M.B., & Estavillo, J.M. (2005). Physiology of maize I: A comprehensive and integrated view of nitrogen metabolism in a C_4 plant. *Physiologia Plantarum*, *124*, 167–177. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00510.x
22. Hussain, M., Cheema, S.A., Abbas, R.Q., Ashraf, M.F., Shahzad, M., Farooq, M., & Jabran, K. (2018). Choice of nitrogen fertilizer affects grain yield and agronomic nitrogen use efficiency of wheat cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, *41*, 2330-2343. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1509998
23. Izan, T., Javanmard, A., Shekari, F., & Abbasi, A. (2020). Evaluation of yield, yield components and some physiological traits of sunflower with integrative application of biological, chemical, and organic fertilizers under different irrigation levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *30*(3), 87-111. https://20.1001.1.24764310.1399.30.3.6.1
24. Kamayestani, N., Rezvani Moghaddam, P., Jahan, M., & Rejali, F. (2015). Effects of single and combined application of organic and biological fertilizers on quantitative and qualitative yield of anise (*Pimpinella anisum*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *13*(1), 62-70. (In Persian with English Summary). https://10.22067/JAG.V10I2.32837
25. Karami Chame, S., Khalil-Tahmasbi, B., ShahMahmoodi, P., Abdollahi, A., Fathi, A., Seyed Mousavi, S.J., & Bahamin, S. (2016). Effects of salinity stress, salicylic acid and *pseudomonas* on the physiological characteristics and yield of seed beans (*Phaseolus* vulgaris). *Scientia Iranica*, *14*(2), 234-238. https://10.15192/PSCP.SA.2016.14.2.234238
26. Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Moradi, R., & Alizadeh, Y. (2015). Evaluation of yield and nitrogen use efficiency of maize and cotton intercropping under different nitrogen levels. *Field Crops Research*, *13*(34), 1-13. (In Persian with English Summary). https:// 10.22067/GSC.V13I1.48310
27. Limon-Ortega, A., Govaerts, B., & Sayre, K.D. (2008). Straw management, crop rotation, and nitrogen source effect on wheat grain yield and nitrogen use efficiency. *European Journal of Agronomy*, *29*, 21–28. https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.01.008
28. MAJ (Ministry of Agriculture Jihad). (2017). Agriculture Statistical Year Book, First volume, crops. 2015-2016. http://www.maj.ir.
29. Malakooti, M.J., & Baba Akbari, M. (2005). The need to increase the efficiency of nitrogen fertilizers in the Iran country. Part I. Practical definitions and examples. *Technical Journal* No. 425, pp 34. Sena Publications, Tehran, Iran. (In Persian). https://press-swri.areeo.ac.ir/book_2226.html
30. Mirzakhani, M., Ghanbari Kashan, M., & Hashemi, S.A.F. (2016). Response of nitrogen physiological efficiency of safflower to animal and chemical fertilizers in Kashan region. *Journal of Plant Environmental Physiology*, *11*(41), 53-64. (In Persian with English Summary) https://20.1001.1.76712423.1395.11.41.5.8
31. Moghimi, F., & Yousefi Rad, M. (2013). The effects of nitroxin (Azotobacter) usage on yield and yield components of safflower (cv.Goldasht) in the presence of EDTA. *Journal of Plant Ecophysiology*, *5(13)*, 39-47. (In Persian). https://sid.ir/paper/188406/fa
32. Mohammadian, M., Astaraie, A., Lakzian, A., Emami, H., & Kavousi, M. (2018). Effect of nitrogen supplying sources on nitrogen use efficiency in rice (*Shiroudi cultivar*). *Iranian Journal of Crop Sciences*, *21*(1), 82-95. (In Persian with English Summary) https://sid.ir/paper/385333/fa
33. Motesharezadeh, B., Valizadeh-Rad, K., Dadrasnia, A., & Amir-Mokri, H. (2017). Trend of fertilizer application during the last three decades (Case study: America, Australia, Iran and Malaysia). *Journal of Plant Nutrition*, *40*(4), 532-542. https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1250909
34. Nasirzade, S., Fallah, S., Kiani, S.H., & Mohammadkhani, A., (2015). Effect of differnt levels of cow manure and urea on quantitative and qulitative characteristics of isabgol (*Plantago Ovata Forssk*.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *31*(1), 41-51. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.12609
35. Pathak, R.R., Ahmad, A., Lochab, S., & Raghuram, N. (2008). Molecular physiology of plant Nitrogen use efficiency and biotechnological option for its enhancement. *Journal of Current Science*, 94: 1394-1403. http://www.jstor.org/stable/24100496
36. Ozturk, A., Caglar, O., & Sahin, F., (2003). Yield response of wheat and barley to inoculation of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of nitrogen fertilization. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *166*(2), 262-266. https://doi.org/10.1002/jpln.200390038
37. Parsa, S., Kafi, M., & Nassiri, M. (2009). Effects of salinity and nitrogen levels on nitrogen content of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Information Database*, *7*(2), 347-355. (In Persian with English Summary) https://sid.ir/paper/119162/fa.
38. Pirasteh Anosheh, H., Emam, Y., & Jamali Ramin, F. (2010). Comparative effect of biofertilizers with chemical

fertilizers on sunflower (*Helianthus annuus* L.) growth, yield and oil percentage in different drought stress levels. *Journal of Agroecology*, *2*(3), 492-501. (In Persian with English Summary) https://sid.ir/paper/474441/fa

39. Qureshi, A., D.K. Singh & Dwivedi, S. (2018). Nano-fertilizers: A Novel Way for Enhancing Nutrient Use Efficiency and Crop Productivity. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *7*(2), 3325- 3335. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.398
40. Rabiei, M., & Tousi Kahel, P. (2011). Effects of nitrogen and potassium fertilizer levels on nitrogen use efficiency and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) as a second crop after rice in Guilan region. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *42*(3), 605-615(In Persian with English Summary) 20.1001.1.20084811.1390.42.3.18.8
41. Rezvani Moghaddam, P., Seyedi, S.M., & Azad, M. (2014). Effects of organic, chemical and biological sources of nitrogen on nitrogen use efficiency in black seed (*Nigella sativa* L.). *Medicinal and Aromatic Plants*, *30*(2), 260-274. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22092/ijmapr.2014.6196
42. Salvagiotti, F., Castellarin J.M., Miralles, D.J., & Pedrol, H.M. (2009). Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research*. 113: 170–177. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.05.003
43. Scott, N., Chen, H., & Cui, H. (2018). Nanotechnology Applications and Implications of Agrochemicals toward Sustainable Agriculture and Food Systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *66* (26), 6451-6456. https:// 10.1021/acs.jafc.8b00964
44. Sedri, M.H., Golchin, A., Mirkhani, R., Fieziasl, V., & Sioseh-mardeh, A. (2017). Effect of nitrogen application management on nitrogen use efficiency in rainfed wheat using 15N Isotope. *Iranian Journal of Soil Research*, *31*(1), 1-17. (In Persian with English Summary) https://10.22092/IJSR.2017.109931
45. Seyyedi, S.M., Khajeh-Hosseini, M., Rezvani Moghaddam, P., & Shahandeh, H. (2015). Relation between the increasing soluble phosphorus and nitrogen uptake and its effects on phosphorus harvest index of black seed. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *46*, 25–36. (In Persian with English Summary). https:// 10.22059/IJFCS.2015.54043
46. Sureshbabu, K., Amaresan, N., & Kumar, K. (2016). Amazing Multiple Function Properties of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in the Rhizosphere Soil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *5*(2), 661-683. https:// 10.20546/ijcmas.2016.502.074.
47. Sumbul, A., Ansari, R.A., Rizvi, R., & Mahmood, I. (2020). *Azotobacter*: A potential bio fertilizer for soil and plant health management. *Saudi Journal of Biological Science*, *27*(12), 3634–3640. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.004
48. Tahmasbpour, B., Younessi-Hamzekhanlu, M., Mahdavisafa, D., & Sabzi Nojadeh, M. (2017). Grain yield performance of *Carthamus tinctorius* L. cultivars under water deficient condition. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 235-243. https://innspub.net/grain-yield-performance-of-carthamus-tinctorius-l-cultivars-under-water-deficient-condition/
49. Tavakoli Kakhki, H., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Jahan, M., & Beheshti, S.A.R. (2020). Evaluation of Nitrogen Balance in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cropping Systems of Iran. *Journal of Agroecology*, *12*(3), 523-540. (In Persian with English Summary) https:// 20.1001.1.20087713.1399.12.3.10.6
50. VtJnvnl,qrssMr, K., Snrcnr, N. K., PrlroN, W. L., & c.No ANornsoN, C. H. (1975). Effects of plant population and row spacing on sunflower agronomy. *Canadian Journal of Plant Science*, *55*, 491-499. https://doi.org/10.4141/cjps75-075
51. Warman, P.R., & Termeer, W.C. (2005). Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn and B content of crops and soils. *Bioresource Technology*, *96*(9), 1029-1038. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.09.014
52. Weih, M., Asplund, L., & Bergkvist, G. (2011). Assessment of nutrient use in annual and perennial crops: A functional concept for analyzing nitrogen use efficiency. *Plant and Soil*, *339*(1-2), 513-520. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0599-4
53. Weiss, E.A. (2000). Oilseed Crops. Blackwell Science Ltd, Second Edition, 364 pp. https://doi.org/10.1017/S0014479701331058
54. Wu, L., Yuan, S., Huang, L., Sun, F., Zhu, G., Li, G., Fahad, S., Peng, S., & Wang, F. (2016). Physiological mechanisms underlying the high-grain yield and high-nitrogen use efficiency of elite rice varieties under a low rate of nitrogen application in China. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 1-12. https://10.3389/fpls.2016.01024
55. Yang, Y.C., Zhang, M., Zheng, L., Cheng, D.D., Liu, M., & Geng, Y.Q. (2011). Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, yield, and quality of wheat. *Agronomy Journal*, 103(2): 479-485. https://doi.org/10.2134/agronj2010.0343

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

Research Article
Vol. 15, No. 3, Fall 2023, p. 543-563

Effect of *Trichoderma longibrachiatum* and Chitosan Spraying on Morphophysiological Characteristics and Yield of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Deficit Irrigation Conditions

Mahtab Miri[1], Hemmatollah Pirdashti[2*], Arastoo Abbasian[3], Zahra Nouri Akandi[4] and Mehranoosh Emamian Tabarestani[5]

Received: 21-10-2021
Revised: 09-12-2021
Accepted: 03-01-2022
Available Online: 03-01-2022

How to cite this article:
Miri, M., Pirdashti, H., Abbasian, A., Nouri Akandi, Z., & Emamian Tabarestani, M. (2023). Effect of *Trichoderma longibrachiatum* and chitosan spraying on morphophysiological characteristics and yield of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under deficit irrigation conditions. *Journal of Agroecology, 15(3),543-563.*
DOI: 10.22067/agry.2022.73081.1071

Introduction

Drought is one of the most important environmental stress adversely affecting agricultural products, especially in arid and semi-arid regions. Using *Trichoderma* fungus and biopolymers such as chitosan is one of the ways to reduce drought stress. *Trichoderma* fungus, as a plant growth-promoting fungus, is the most common fungal and soil-modifying species that can directly with plant roots in the rhizosphere and improve growth as well as biological control of living stresses such as pathogenic fungi and non-living stresses such as drought, salinity, and heavy metals. On the other hand, one of the effective ways to protect the plant in conditions of low irrigation is the use of anti-transpirants, including the biostimulant chitosan, which markedly limits transpiration from the plant surface. The anti-transipirants action of chitosan can be attributed to the involvement of chitosan in the abscisic acid pathways, which closes the stomata and thus reduces transpiration. Chitosan is readily soluble in water and organic acids. Therefore, it can be used in various methods such as mixing with soil, foliar spraying, and impregnation with seeds in agriculture.

Material and Methods

This research was conducted in a split factorial arrangement based on a randomized complete block design. The main plot factor was irrigation interval in three levels (two days as normal irrigation and three and four days as deficit irrigation conditions), and sub-plots were inoculated with *T. longibrachiatum* at two levels (inoculation and uninoculated control) and chitosan at three levels (0, 0.2 and 0.4 g/L). Each experimental plot consisted of three planting lines two and a half meters long and one meter wide. *T. longibrachiatum* was obtained from Tabarestan

1- M.Sc. of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2- Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
4- Ph.D. of Agronomy - Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahroud, Iran.
5- Ph.D. of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
(*- Corresponding author's Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

Agricultural Genetics and Biotechnology Research Institute. The first irrigation was done simultaneously with planting basil. Up to one month after sowing the seeds (six to eight-leaf stage of plants), the plots were irrigated evenly with tubes, and from this stage onwards, irrigation treatments were applied. Pesticides and herbicides were not used during the experiment, and weed control was done manually. Chitosan was prepared from the Sarina Teb store, in three levels of zero, 0.2, and 0.4 g/l, and sprayed in three stages: vegetative, before flowering, and 50% flowering.

Results and Discussion

The results showed that by increasing the irrigation period from two to four days, the morphological traits of basil, such as root length and stem length, leaf dry weight, root, stem, and dry matter yield decreased. Also, physiological traits of basil, such as carotenoids and chlorophyll meter, increased while chlorophyll *a*, *b*, and total chlorophyll decreased. Application of 0.2 g/L of chitosan inoculated plants increased chlorophyll *b* content by 68%. The highest percentage and yield of essential oil in normal and irrigation deficit conditions were obtained when plants were inoculated with *Trichoderma* and foliar sprayed with chitosan. The highest percentage and yield of essential oil were observed with an average of 0.88 and 42.87% in normal irrigation conditions, application of *Trichoderma*, and zero level of chitosan, respectively. According to the results, increasing the irrigation cycle, chitosan application and fungal inoculation, increased the percentage and yield of essential oil. However, by increasing the irrigation cycle, chitosan alone decreased the percentage and yield of essential oil, and only in the three-day irrigation cycle it increased the percentage of essential oil compared to the control.

Conclusion

Overall, the findings showed the positive effect of concomitant use of *Trichoderma* fungus and chitosan on improving the growth of sweet basil and increasing drought resistance.

Acknowledgments

Thanks and appreciation for the financial support provided by the Department of Agronomy and Plant Breeding Engineering, Sari Agricultural Sciences, and the Natural Resources University of Sari, Iran.

Keywords: Essential oils, Sweet basil, Dry weight, Photosynthetic pigments, Plant growth promoting microorganisms.

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۵۶۳-۵۴۳

تأثیر قارچ تریکودرما *Trichoderma longibrachiatum* و محلول‌پاشی کیتوزان بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در شرایط کم‌آبیاری

مهتاب میری[۱]، همت‌اله پیردشتی[۲*]، ارسطو عباسیان[۳]، زهرا نوری آکندی[۴] و مهرانوش امامیان طبرستانی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۳

چکیده

کم‌آبی از مهم‌ترین عوامل تنش‌زای محیطی است که تولید محصولات کشاورزی را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش عملکرد می‌شود. بهره‌گیری از ریزجانداران افزاینده رشد گیاه و استفاده از پلیمرهای زیستی مانند کیتوزان یکی از راهکارهای بهبود تحمل گیاه در شرایط کم‌آبیاری پیشنهاد شده است. در همین راستا، پژوهشی به‌منظور بررسی تأثیر قارچ *Trichoderma longibrachiatum* و محلول-پاشی کیتوزان بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در شرایط کم‌آبیاری، به‌صورت کرت‌های خرد شده-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل کم‌آبیاری در سه سطح (دور آبیاری دو روز به‌عنوان آبیاری نرمال و سه و چهار روز به‌عنوان شرایط کم‌آبیاری) به‌عنوان عامل اصلی و کیتوزان در سه سطح (۰، ۰/۲ و ۰/۴ گرم در لیتر) و قارچ *T. longibrachiatum* در دو سطح شاهد و پیش‌تیمار با قارچ تریکودرما به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزایش دور آبیاری از دو به چهار روز، صفات مورفولوژیک ریحان، مانند طول ریشه افزایش و طول ساقه، وزن خشک برگ، ریشه، ساقه و عملکرد ماده خشک کاهش یافت. همچنین، صفات فیزیولوژیک ریحان مانند کاروتنوئید و عدد کلروفیل‌متر افزایش و مقدار کلروفیل *a*، *b* و کلروفیل کل کاهش یافت. در مقایسه، کاربرد سطح ۰/۲ کیتوزان در شرایط تلقیح با قارچ سبب افزایش محتوای کلروفیل *b* به‌میزان ۶۸ درصد شد. همچنین، بالاترین درصد و عملکرد اسانس در هر دو شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری با کاربرد قارچ تریکودرما و کیتوزان حاصل شد. در مجموع، یافته‌ها بیانگر اثر مثبت کاربرد همزمان قارچ تریکودرما و کیتوزان در بهبود رشد رویشی و افزایش تحمل به تنش کم‌آبیاری در گیاه ریحان بود.

واژه‌های کلیدی: اسانس، رنگیزه‌های فتوسنتزی، ریزجانداران افزاینده رشد گیاه، عدد کلروفیل‌متر، وزن خشک

مقدمه

تنش خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی به‌شمار می‌رود که می‌تواند بر تمام جنبه‌های رشد و نمو گیاه تأثیر بگذارد و سبب کاهش رشد و عملکرد گیاه شود (Farooq et al., 2009). میزان کم نزولات آسمانی، پراکنش نامنظم آن و درجه حرارت‌های بالا، موجب تنش خشکی در طول دوره رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک،

۱- کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.
۲- استاد گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.
۳- استادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.
۴- دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران.
۵- دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2022.73081.1071

اختلال در جذب آب و مواد غذایی، فتوسنتز و تنفس و در نهایت، باعث کاهش تولید محصولات زراعی می‌شود (Larcher, 2001). کاهش تورژسانس، اولین اثر تنش آبی است که کاهش سرعت نمو، رشد طولی ساقه، رشد برگ و همچنین کاهش قطر منفذ روزنه از آن ناشی می‌شود (Levitt, 1980). کاهش تورژسانس ممکن است با تقلیل اندازه سلولی و کاهش سطح برگ همراه باشد. متعاقب کاهش سطح برگ در اثر تنش، جذب نور نیز کاهش یافته و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد و این اساس کاهش رشد در شرایط کم‌آبیاری است. مطالعات نشان می‌دهد که تنش ناشی از کمبود آب در گیاهان همچنین باعث تخریب غشای سلولی، تخریب و کاهش پروتئین‌ها، تخریب آنزیم‌ها، تولید مواد سمی و اختلالات هورمونی از جمله افزایش اسید آبسیزیک و کاهش تحریک‌کننده‌های رشد، آسیب به رنگیزه‌ها و پلاستیدها، کاهش مقدار و سنتز کلروفیل، کاهش رشد ریشه و گل‌های تلقیح شده می‌شود (Levitt, 1980). تنش خشکی، به‌ویژه با تولید گونه‌های اکسیژن فعال در تیلاکوئیدها، قادر به کاهش تراکم بافت کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها می‌باشد. در این شرایط، به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها در طول دوره تنش و تغییر کارآیی مصرف آب، ماده خشک تولیدی گیاه کاهش می‌یابد.(Kiani et al., 2008)

عکس‌العمل گیاهان دارویی به تنش رطوبتی بسته به شدت و دوره تنش و همچنین گونه و مرحله رشدی گیاه به‌میزان قابل‌ملاحظه‌ای متفاوت است. تولید و کیفیت متابولیت‌های ثانویه مثل آلکالوئیدها، گلیکوزیدها، استروئیدها و اسانس‌ها در گیاهان دارویی به‌وسیله عواملی محیطی تغییر می‌یابند و تنش خشکی نیز یکی از عوامل مهم و مؤثر در کمیت و کیفیت ترکیبات مؤثره این گیاهان می‌باشد. بنابراین، به‌کارگیری روش‌هایی که توسط آن‌ها گیاهان دارویی با ماده مؤثره بیشتر تولید شوند، حائز اهمیت است (Salimi et al., 2020). محرک‌های زیستی شامل ریزجانداران و متابولیت‌های آن‌ها می‌باشد که قادر به بهبود تولید و کیفیت ماده مؤثره گیاهان دارویی هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به قارچ‌های افزاینده رشد اشاره نمود (Mikovacki et al., 2010). در این میان، گونه‌های قارچ تریکودرما به‌عنوان افزاینده رشد گیاهی جزء متداول‌ترین گونه‌های قارچی و اصلاح‌کننده خاک می‌باشند که در سطح تجاری تولید می‌شوند (Vinale et al., 2008; Kaewchai et al., 2009). پژوهش‌های اخیر نشان داده است که برخی از گونه‌های تریکودرما قادرند به‌طور مستقیم در منطقه ریزوسفر به‌عنوان افزاینده رشد گیاه، سبب بهبود رشد (Sharma et al., 2012) و همچنین کنترل زیستی تنش‌های زنده از قبیل قارچ‌های بیماری‌زا (John et Sallam et al., 2008 ; al., 2010) و تنش‌های غیرزنده از جمله خشکی (Bae et al., 2009)، شوری (Hashem et al., 2014) و فلزات سنگین (Arriagada et al., 2009) شوند. به‌کارگیری این گونه قارچ‌ها بهبود رشد و میزان فتوسنتز خالص در گیاهچه برنج (*Oryza sativa* L.) (Doni et al., 2014)، سویا (*Glycine max* L.) (John et al., 2010)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (Sallam et al., 2008) و مقاومت به تنش خشکی برنج (Shukla et al., 2012) را به دنبال داشت.

یکی از راهکارهای مؤثر برای حفظ گیاه در شرایط تنش کم-آبیاری، استفاده از مواد ضد تعرق، از جمله محرک زیستی کیتوزان[1] می‌باشد که باعث می‌شود، تعرق از سطح گیاه بسیار محدود شود. عملکرد ضدتعرق کیتوزان را می‌توان به دخالت کیتوزان در مسیرهای اسید آبسزیک نسبت داد که باعث بسته شدن روزنه و در نتیجه، کاهش تعرق می شود (Willmer & Pricker, 1996). کیتوزان پلی ساکارید گلوکوزامین مشتق شده از کیتین (در اسکلت خارجی بند پایان مانند حشرات، خرچنگ ردیایی، میگوها، خرچنگ‌ها و دیواره سلولی نوع خاصی از جلبک‌ها وجود دارد) است (Dutta et al., 2004). کیتوزان و بعضی از مشتقاتش به‌آسانی در آب و اسیدهای آلی مانند اسید الکتیک و اسید استیک قابل حل بوده و بنابراین، می‌توانند به روش‌های مختلف مانند مخلوط کردن با خاک (Hirano, 1996)، محلول‌پاشی برگی (Ramos-Garcia et al., 2009) و آغشته کردن به بذر (Chmielewski et al., 2007) در کشاورزی استفاده شوند. کیتوزان از طرف دیگر، می‌تواند به‌عنوان جاذب رطوبت عمل کند (Malekpour et al., 2015). همچنین محلول‌پاشی با ترکیبات کیتوزانی باعث کاهش مقدار تولید مالون‌دی‌آلدئید، به‌عنوان کاهش مقدار خسارت در شرایط تنش خشکی، در سلول‌های گیاهی می‌شود (Yang et al., 2009). افزایش کارآیی مصرف آب (Boonlertinirun et al., 2008)، کاهش صدمه ناشی از تنش خشکی (Morello et al., 2005)، افزایش مدت ماندگاری میوه‌ها (Iriti & Faoro, 2009) و گل‌ها (Uthairatanakij et al., 2007) و تغییر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (Zhili et al., 2012) با مصرف ترکیبات کیتوزانی نیز گزارش شده است. هنگ و همکاران

1- Chitosan

(Heng et al., 2012) در بررسی اثر محرک کیتوزان بر گیاه دارویی پونه (*Mentha pulegium* L.) گزارش نمودند که ارتفاع بوته، وزن تر و وزن خشک گیاه با مصرف محرک کیتوزان افزایش یافت. دژانگ (Dzung, 2011) نیز گزارش نمود که کاربرد 60 میلی‌گرم در لیتر کیتوزان، ارتفاع بوته و عملکرد ماده خشک قهوه (*Coffea Arabica* L.) را افزایش داد.

ریحان (*Ocimum basilicum* L.) گیاهی یکساله، علفی و متعلق به خانواده نعناع و از معروف‌ترین گیاهان دارویی است. منشأ این گیاه هند، ایران و افغانستان گزارش شده است (Ziaei et al., 2014)، این گیاه کاربرد زیادی در درمان بسیاری از بیماری‌ها، از جمله ناراحتی‌های کلیوی، سرفه، بزرگ شدن طحال و برخی ناراحتی‌های قلبی دارد (Sajjadi, 2006). از طرف دیگر، به‌خاطر دارا بودن ترکیبات معطر، عملکرد ضدباکتری، ضدقارچی و آنتی‌اکسیدانی دارد و در صنایع غذایی، بهداشتی، آرایشی و غیره نیز به‌کار می‌رود (Labra et al., 2004). از آنجا که بررسی اثر عوامل محیطی، بر کارکرد گیاه و همچنین عکس العمل‌های گیاه نقش مهمی در موفقیت کشت گیاهان دارویی دارد بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر قارچ *Trichoderma longibrachiatum* و محلول‌پاشی کیتوزان بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در شرایط کم‌آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار و تابستان سال ۱۳۹۶ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل‌های آزمایشی شامل کم‌آبیاری در سه سطح (دور آبیاری دو روز به‌عنوان آبیاری نرمال و سه و چهار روز به‌عنوان شرایط کم-آبیاری) به‌عنوان عامل اصلی و کیتوزان در سه سطح (۰، ۰/۲ و ۰/۴ گرم در لیتر) (Gerami et al., 2020; Salehi et al., 2017) و قارچ *Trichoderma longibrachiatum* در دو سطح شاهد و پیش‌تیمار بذر با قارچ به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. هر کرت آزمایش شامل سه خط کشت به‌طول دو و نیم و عرض یک متر بود. فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر و فواصل بین کرت‌ها و بلوک‌ها از یکدیگر به‌ترتیب نیم و یک متر در نظر گرفته شد. قارچ *T. longibrachiatum* از پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان تهیه شد. بذر ریحان سبز (توده بومی) با تراکم مطلوب ۸۰ بوته در مترمربع در تیمارهای الگوهای کشت به صورت دستی کشت شدند. بر اساس نقشه طرح، ردیف‌های کاشت آبیاری شده و بعد از کمی فروکش کردن آب، بذر گیاه ریحان به صورت شاهد و پیش تیمار با قارچ تریکودرما توسط دست در این شیارها کشت و روی آن با مقدار کمی خاک خشک و نرم پوشانیده شد. برخی ویژگی‌های خاک در جدول ۱ آورده شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physicochemical characteristics of farm soil

پارامتر Parameter	واحد Unit	مقدار Amount
پی‌اچ pH	-	7.3
نیتروژن N	(٪)	0.22
فسفر P	($mg.kg^{-1}$)	14
پتاسیم K	($mg.kg^{-1}$)	280
بافت Texture	(٪)	رسی سیلتی Silty clay

اولین آبیاری همزمان با کاشت گیاه ریحان در ۱۷ خرداد ماه انجام شد. تا یک ماه پس از کاشت بذور (مرحله شش تا هشت برگی شدن بوته‌ها)، کرت‌ها به‌صورت مساوی با فاصله زمانی دو روز به‌وسیله لوله‌ها آبیاری و از این مرحله به بعد، تیمارهای آبیاری اعمال شدند. پس از سبز شدن، عملیات تنک کردن گیاهچه‌ها به‌صورت دستی انجام گرفت. در طی انجام آزمایش از آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها استفاده نگردید و مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. کیتوزان از فروشگاه سارینا طب تهیه و در سه سطح صفر، ۰/۲ و ۰/۴ گرم در لیتر آماده و در سه مرحله، رویشی، قبل از گل‌دهی و ۵۰ درصد گل‌دهی محلول‌پاشی شد. هفتاد و هفت روز پس از کاشت گیاه اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک انجام شد. صفات مورفولوژیک شامل طول ساقه و ریشه با خط‌کش مدرج اندازه‌گیری شدند. سپس اندام‌های مختلف جدا و وزن خشک ساقه، برگ و ریشه با ترازوی دقیق به‌دست آمد. پس از خشک‌کردن بخش‌های مختلف در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت وزن خشک آن‌ها نیز تعیین شد.

اندازه‌گیری عدد کلروفیل‌متر برگ نیز ۳۰ روز پس از اعمال کم-آبیاری با دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502 Minolta, Japan) و از سه نقطه از برگ‌های جوان و توسعه‌یافته گیاه اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان عدد نهایی در محاسبه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین میزان کلروفیل برگ در زمان قبل از گل‌دهی از هر کرت مقدار ۱۰ گرم از برگ گیاه را در متانول به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده، سپس میزان نور جذبی محلول در طول موج‌های ۶۶۵/۲، ۶۵۲/۴ و ۴۷۰ نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Analytic jena-SPEKOL 1300) قرائت و ثبت گردید. در نهایت، میزان کلروفیل a (Chl_a)، b (Chl_b)، کلروفیل کل (Chl_{a+b})، نسبت کلروفیل a/b ($Chl_{a/b}$) و کاروتنوئید به‌ترتیب با استفاده از روابط یک تا پنج محاسبه و بر حسب میکروگرم در میلی‌لیتر گزارش گردید (Porra, 2002).

در آخر بعد از برداشت، نمونه‌ها هواخشک شده و مقدار ۳۰ گرم از آن خرد شده با ۶۰۰ میلی‌لیتر (به‌ازای هر ۱۰ گرم ۲۰۰ میلی‌لیتر) آب مقطر مخلوط شد. در ادامه، عمل اسانس‌گیری به‌روش تقطیر با آب مقطر به‌مدت سه الی چهار ساعت در دستگاه کلونجر انجام و میزان اسانس نمونه‌ها با استفاده از سولفات سدیم تعیین شد (Adams, 2017).

پس از پایان آزمایش و اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ تجزیه و تحلیل انجام شد. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر عامل‌های آزمایشی نشان داد، که اثر ساده کم‌آبیاری بر طول ریشه و اثر ساده قارچ بر طول ساقه و وزن خشک ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین، تیمار با کیتوزان بر تمامی صفات مورد بررسی به‌جز طول ریشه اثر معنی‌دار نشان داد. بین قارچ و کم‌آبیاری از نظر تمامی صفات به‌جز طول ریشه و وزن خشک ساقه برهم‌کنش معنی‌داری مشاهده شد. برهم‌کنش قارچ و کیتوزان از نظر تأثیر بر وزن خشک برگ، ساقه و ریشه معنی‌دار بود. اثر متقابل کم‌آبیاری و کیتوزان تنها بر صفات طول ساقه و وزن خشک برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها تنها بر وزن خشک برگ در سطح احتمال یک درصد و وزن خشک ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

اثر متقابل کم‌آبیاری و قارچ، تلقیح قارچ در شرایط آبیاری معمولی سبب افزایش معنی‌دار میزان طول ساقه ریحان در حدود ۲۳ درصد نسبت به سطح عدم تلقیح گردید. در شرایط کم‌آبیاری (سه و چهار روز) تلقیح با قارچ نتوانست به طرز معنی‌داری طول ساقه ریحان را نسبت به شاهد افزایش دهد (شکل ۱- الف). در آزمایشی گلخانه‌ای نیز به‌منظور ارزیابی اثر برخی از جدایه‌های *Trichoderma* spp. به‌عنوان افزاینده رشد گیاهچه‌های خیار (*Cucurbita sativus* L.) نشان داده شد که جدایه‌های *Trichoderma* spp. و *T. longibrachiatum* بیشترین تأثیر را در افزایش طول ساقه هر یک به‌میزان ۷۴ درصد نسبت به شاهد داشتند (Taghinasab Darzi, 2012).

$$Chl_a\ (\mu g/ml) = 16.72\ A_{665.2} - 9.16\ A_{652.4}$$ معادله (۱)

معادله (۲) $$Chl_b(\mu g/ml) = 34.09\ A_{652.4} - 15.28\ A_{665.2}$$

معادله (۳) $$Chl_{a+b}\ (\mu g/ml) = Chl_a + Chl_b$$

معادله (۴) $$Chla_{/b}(\mu g/ml) = Chl_a\ /Chl_b$$

معادله (۵) $$\text{Carotenoid}\ (\mu g/ml) = (1000\ A_{470} - 1.63\ Chl_a - 104.96\ Chl_b)/221$$

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کم‌آبیاری، قارچ تریکودرما و کیتوزان بر صفات مورفولوژیک و وزن خشک گیاه ریحان

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of the effect of irrigation deficit, *Trichoderma* fungus, and chitosan on morphological traits and dry weight of basil plant

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares				
		طول ساقه Stem length	طول ریشه Root length	وزن خشک Dry weight		
				برگ Leaves	ساقه Stem	ریشه Root
بلوک Block	2	8.13	4.37	0.0001	0.004	0.001
کم‌آبیاری (D) Irrigation deficit	2	11.95	15.31**	0.0004	0.004	0.0007
خطای اصلی Main error	4	2.95	1.16	0.0004	0.0004	0.0007
قارچ (F) Fungi	1	51.15*	0.0002	0.001	0.004	0.002*
کیتوزان (C) Chitosan	2	32.75*	1.35	0.002*	0.06**	0.002*
D×F	2	35.03*	1.35	0.02**	0.003	0.005**
F×C	2	13.37	6.45	0.01**	0.03*	0.002*
D×C	4	44.08**	3.96	0.003**	0.004	0.0006
D×F×C	4	4.54	3.62	0.01**	0.005	0.001*
خطای آزمایش Error	12	7.7	2.61	0.0004	0.008	0.0005
ضریب تغییرات C.V (%)		10.21	18.16	5.48	22.36	15.25

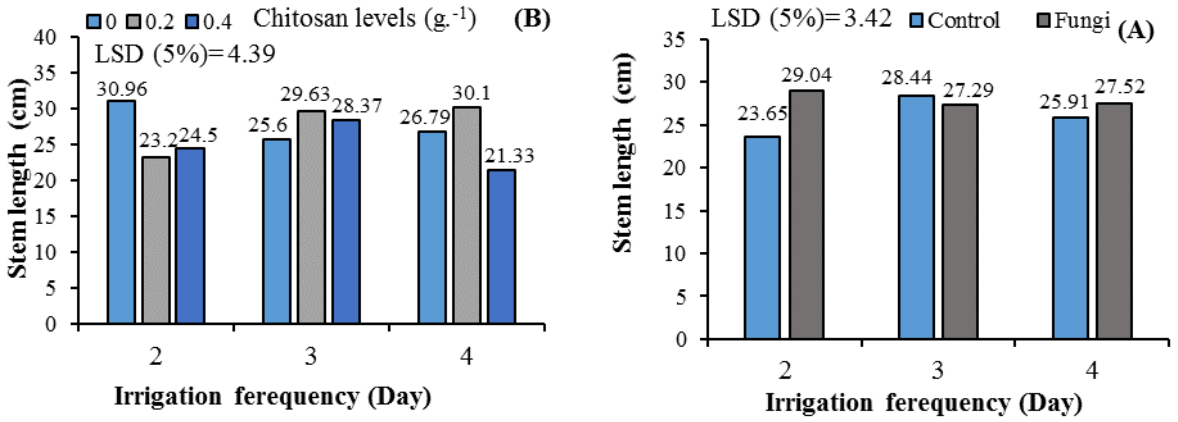
* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

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

بر اساس یافته‌ها، در شرایط کم‌آبیاری دور سه و چهار روز، محلول‌پاشی سطح ۰/۲ گرم در لیتر کیتوزان سبب افزایش به‌ترتیب حدود ۱۶ و ۳۰ درصدی طول ساقه گردید، امّا این افزایش نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی) معنی‌دار نبود (شکل ۱- ب). یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش تورژسانس و در نتیجه، کاهش رشد و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها است. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبیاری در گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع و اندازه کوچک‌تر اندام‌ها تشخیص داد. کاهش ارتفاع گیاه در اثر تنش آبی نیز پیش‌تر توسط بزازی و همکاران (Bazazi et al., 2013) در شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) سودائی‌زاده و و همکاران (Sodaizadeh et al., 2016) در گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) گزارش شد. بر اساس یافته‌ها، کاربرد کیتوزان در شرایط تنش تا حدودی طول ساقه را افزایش داد. هنگ و همکاران (Heng et al., 2012) نیز در گیاه دارویی پونه (*Mentha pulegium* L.) و دژانگ (Dzung, 2011) در قهوه نتیجه گرفتند که ارتفاع بوته، وزن تر و وزن خشک گیاه پاسخ مثبتی به کاربرد کیتوزان نشان دادند.

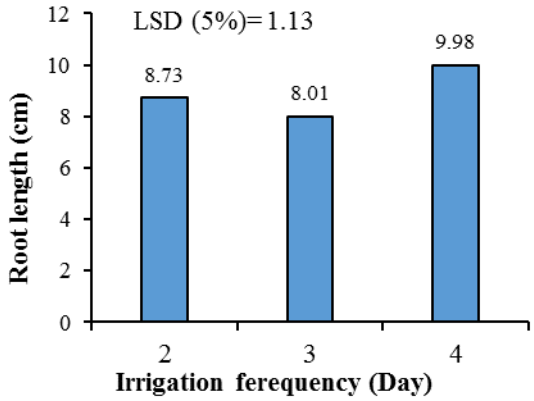
با افزایش دور آبیاری به چهار روز، طول ریشه (با میانگین ۹/۹۸ سانتی‌متر) گیاه نسبت به شرایط آبیاری معمول حدود ۱۲/۵ درصد و به‌صورت معنی‌داری بیشتر شد (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد، زمانی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، حتی قبل از هرگونه کاهش در تورژسانس، انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌های در حال رشد

برگ‌ها و ساقه‌ها عموماً کم شده و توسعه سلول و در نتیجه، رشد اندام‌ها کم می‌شود. بنابراین، به نظر می‌رسد دیواره سلولی ریشه به کمبود آب حساسیت کمتری داشته و ممکن است وقتی که رشد اندام‌های هوایی متوقف شده باشد، رشد ریشه ادامه پیدا کند (Mohammadi et al., 2015; Abdel-Monaim, 2013). به‌طور مشابهی، در پژوهشی با بررسی ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای مشخص شد که طول، حجم و عمق ریشه با شدت گرفتن تنش خشکی افزایش می‌یابد و ارقام متحمل‌تر از خصوصیات مطلوب‌تر سیستم ریشه‌ای در شرایط تنش برخوردار می‌باشند (Clark & McCaig IN, 1993).



شکل ۱- برهم‌کنش کم‌آبیاری و قارچ (آ) و کم‌آبیاری و کیتوزان (ب) بر طول ساقه ریحان

Fig. 1- Interaction of deficit irrigation fungus (A) and deficit irrigation and chitosan (B) on the stem length of basil



شکل ۲- اثر کم‌آبیاری بر طول ریشه ریحان

Fig. 2- The effect of irrigation deficit on basil root length

در برهم‌کنش قارچ و کیتوزان بر وزن خشک برگ ریحان، بیشترین میزان وزن خشک برگ در شرایط آبیاری معمول، عدم تلقیح با قارچ و سطح ۰/۲ گرم در لیتر کیتوزان با میانگین ۰/۵۵ گرم مشاهده شد. در شرایط کم‌آبیاری سه روز، تلقیح با قارچ در سطح ۰/۲ و ۰/۴ کیتوزان باعث کاهش وزن خشک برگ شد، امّا در سطح صفر کیتوزان تأثیری نداشت. در مقایسه، در کم‌آبیاری چهار روز تلقیح با قارچ در سطح صفر و ۰/۲ کیتوزان وزن خشک برگ را به‌ترتیب به میزان ۷۰ و ۴۸ درصد افزایش داد، امّا در سطح ۰/۴ کیتوزان تأثیری نداشت (جدول ۳).

جدول ۳- برهم‌کنش قارچ و کیتوزان بر وزن خشک برگ ریحان (گرم در بوته) در دورهای مختلف آبیاری

Table 3 - Interaction of fungus and chitosan on leaf dry weight of basil (g.plant^{-1}) in different irrigation periods

قارچ Fungus	کیتوزان Chitosan levels (g.l^{-1})	دور آبیاری (روز) Irrigation interval (Day)		
		2	3	4
شاهد Control	0	0.35	0.34	0.27
	0.2	0.55	0.47	0.31
	0.4	0.38	0.34	0.35
قارچ تریکودرما *Trichoderma* fungus	0	0.36	0.36	0.46
	0.2	0.17	0.42	0.46
	0.4	0.36	0.32	0.34
LSD (5%)			0.05	

یافته‌ها نشان داد که در شرایط کم‌آبیاری (دور آبیاری سه و چهار روز)، تلقیح گیاهان با قارچ و محلول‌پاشی کیتوزان در سطح ۰/۲ گرم در لیتر بیشترین وزن خشک ریشه را سبب شد (جدول ۴).

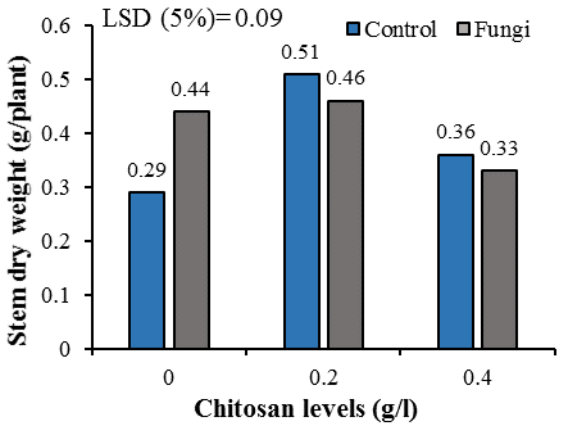
جدول ٤- برهم‌کنش قارچ و کیتوزان بر وزن خشک ریشه ریحان (گرم در بوته) در دورهای مختلف آبیاری

Table 4 - Interaction of fungus and chitosan on root dry weight of basil (g.plant^{-1}) in different irrigation periods

قارچ Fungus	کیتوزان Chitosan levels (g.l^{-1})	دور آبیاری (روز) Irrigation interval (Day)		
		2	3	4
شاهد Control	0	0.17	0.15	0.14
	0.2	0.24	0.17	0.19
	0.4	0.16	0.15	0.13
قارچ تریکودرما *Trichoderma* fungus	0	0.14	0.12	0.16
	0.2	0.08	0.16	0.20
	0.4	0.14	0.13	0.17
LSD (5%)			0.05	

طبق نمودار اثر متقابل قارچ و کیتوزان، کاربرد قارچ در سطوح ۰/۲ و ۰/۴ گرم در لیتر کیتوزان نتوانست اثر افزایشی و مثبتی بر میزان وزن خشک ساقه بگذارد. تنها در تیمار عدم کاربرد، کیتوزان سبب افزایش معنی‌دار و حدود ۵۲ درصدی میزان وزن خشک ساقه نسبت به سطح عدم تلقیح گردید. کاربرد غلظت ۰/۲ گرم در لیتر کیتوزان میزان وزن خشک ساقه را به‌طور معنی‌دار و ۴۳ درصد نسبت به سطح شاهد (عدم تلقیح و عدم کاربرد کیتوزان) افزایش داد. کمترین میزان وزن خشک ساقه با میانگین ۰/۲۹ گرم در سطح صفر کیتوزان و عدم تلقیح مشاهده شد (شکل ۳).

نتایج نشان از اثربخشی مثبت کیتوزان بر وزن خشک برگ، ریشه و ساقه در سطوح مختلف کم‌آبیاری بود. نتایج پژوهش و هیدالگو همکاران (Hidalgo et al., 1996) نیز نشان داد که تیمار بذرهای گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) با کیتوزان وزن خشک و قطر ساقه را در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش داد. محلول‌پاشی کیتوزان نیز اثر مثبتی بر وزن خشک اندام هوایی در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) داشت (Mahdavi et al., 2010). کاربرد برگی کیتوزان بر رشد و ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) تأثیر گذاشته و به‌عنوان عامل مثبتی بر بسیاری از ویژگی‌های مورفولوژیک و رشد (ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی) مؤثر بوده است (Hussaini et al., 2013).



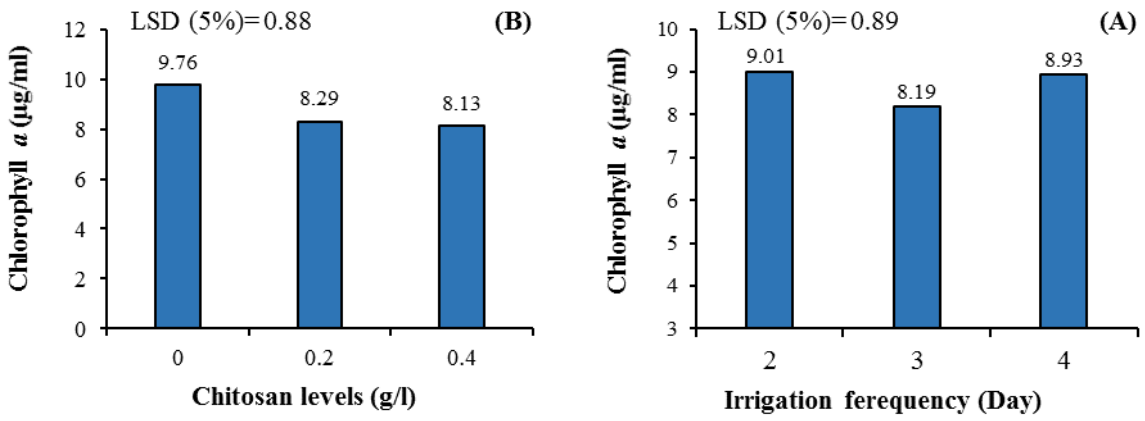
شکل ۳- برهم‌کنش قارچ و کیتوزان بر وزن خشک ساقه ریحان

Fig. 3- Interaction of fungus and chitosan on the dry weight of basil stems

همچنین در پژوهشی دیگر که روی گیاه گوجه‌فرنگی صورت گرفت، محلول‌پاشی کیتوزان باعث افزایش تعداد شاخه، تعداد برگ، وزن خشک برگ و اندام هوایی شد (El-Tantawy, 2009). در تحقیقات مشابه که در دو گیاه توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa* Duch.) و برنج انجام شد، کاربرد کیتوزان افزایش وزن تر و خشک برگ را به همراه داشت (Abdel-Mawgoud et al., 2010). در پژوهشی مشابه، کاربرد برگی کیتوزان سبب افزایش وزن خشک برگ و اندام هوایی در گیاه فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) شد (Ghoname et al., 2010). گزارش شده است که کیتوزان باعث رشد، توسعه سلولی و در نتیجه، افزایش عملکرد در گیاه می‌شود. همچنین، کیتوزان با استفاده از افزایش فعالیت آنزیم‌های کلیدی در متابولیسم نیتروژن (نیترات ردکتاز، گلوتامین و پروتئازسنتتاز) و بهبود انتقال نیتروژن باعث بهبود رشد و نمو گیاه می‌شود (Mondal et al., 2012). القای سیگنالی برای سنتز هورمون‌های گیاهی مانند جیبرلین و اکسین از طریق مسیر وابسته به تریپتوفان و در نتیجه، بهبود رشد و نمو گیاه از سازوکارهای دیگر این محرک زیستی عنوان شده است (Hussaini et al., 2013). کیتوزان با به‌کارگیری سازوکارهایی که مسئول حفاظت از گیاه در مقابل تنش اکسیداتیو هستند، می‌تواند خشکی را کنترل کند (Yang et al., 2009). در این پژوهش، کاربرد قارچ تریکودرما در شرایط کم‌آبیاری سبب افزایش وزن خشک ریشه و در شرایط عدم محلول‌پاشی کیتوزان سبب افزایش وزن خشک ساقه گردید. انیس و همکاران (Anith et al., 2011) نیز در پژوهشی بیان کردند که مایه‌زنی هم‌زمان قارچ‌های شبه‌میکوریزا و تریکودرما باعث افزایش معنی‌داری در وزن تر ساقه و وزن خشک ساقه در گیاه فلفل سیاه (*Piper nigrum* L.) شد. کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2004) نیز دریافتند که همزیستی قارچ میکوریزا از راه بهبود گسترش هیف‌های قارچ در منافذ خاک، سبب افزایش وزن خشک گیاه در گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) گردید. تقوی قاسمخیلی و همکاران (Taghavi Ghasemkheili et al., 2014) نشان دادند، حضور تریکودرما در محیط رشد گیاه تأثیر معنی‌داری بر بهبود عملکرد دانه و شاخص تحمل گیاه جو داشت، به‌طوری‌که این صفات در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۱۷ و ۲۲ درصد افزایش یافتند. اثر مثبت گونه‌های مختلف قارچ تریکودرما بر رشد رویشی گیاهانی از جمله خرفه (*Portulaca oleracea* L.) (Nouri Akandi, 2020)، گندم (Yagubian et al., 2012) و فلفل (*Capsicum frutescens* L.) (Mohammadi Kashka et al., 2016) توسط پژوهشگران مختلف گزارش شده است.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج آنالیز واریانس رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان داد، اثر ساده کم‌آبیاری بر عدد کلروفیل‌متر، کلروفیل *a*، کلروفیل کل و کاروتنوئید معنی‌دار بود. همچنین، تأثیر کیتوزان بر محتوای کلروفیل *a* و *a+b* در سطح پنج درصد و نسبت کلروفیل *a/b* در سطح یک درصد معنی‌دار بود. برهم‌کنش کم‌آبیاری و قارچ بر عدد کلروفیل‌متر و کلروفیل کل معنی‌دار بود. اثر متقابل قارچ و کیتوزان بر میزان عدد کلروفیل‌متر، محتوای کلروفیل *b* و کلروفیل کل معنی‌دار بود. برهم‌کنش سه‌گانه کم‌آبیاری، قارچ و کیتوزان تنها از نظر محتوای کلروفیل *b* معنی‌دار بود (جدول ۵).



شکل ٤- اثر کم‌آبیاری (آ) و کیتوزان (ب) بر محتوای کلروفیل *a* برگ ریحان

Fig. 4- The effect of irrigation deficit (A) and chitosan (B) on the chlorophyll *a* of basil leaves

جدول ٥- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کم‌آبیاری، قارچ تریکودرما و کیتوزان بر عدد اسپد و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه ریحان

Table 5- Analysis of variance (mean of squares) of the effect of irrigation deficit, *Trichoderma* fungus, and chitosan on SPAD number and photosynthetic pigments of the basil plant

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares					
		عدد اسپد SPAD	کلروفیل Chlorophyll				کاروتنوئید Carotenoid
			a	*b*	*a+b*	*a/b*	
بلوک Block	2	25.63	0.63	0.08	1.19	0.54	0.12
کم‌آبیاری (D) Irrigation deficit	2	52.58*	4.38*	0.42	9.27**	0.004	0.69**
خطای اصلی Main error	4	36.29	0.62	0.09	0.74	0.22	0.09
قارچ (F) Fungi	1	19.68	5.04	0.22	5.25	0.14	0.000008
کیتوزان (C) Chitosan	2	41.49	11.26**	0.32	16.27**	0.78*	0.22
D×F	2	57.72*	4.29	0.19	6.59*	0.07	0.02
F×C	2	52.18*	1.45	1.13**	5.18*	0.39	0.26
D×C	4	38.7	2.91	0.32	3.43	0.19	0.05
D×F×C	4	11.04	1.35	0.76**	2.14	0.28	0.15
خطای آزمایش Error	12	15.23	1.2	0.14	1.33	0.21	0.07
ضریب تغییرات C.V (%)		17.78	12.61	14.06	10.02	14.49	14.36

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

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

طبق نتیجه اثر ساده کم‌آبیاری بر کلروفیل *a*، در دور آبیاری سه روز محتوای کلروفیل *a* کاهش یافت، در حالی که در دور آبیاری چهار روز این میزان با شرایط نرمال آبیاری (دور آبیاری دو روز) تفاوت معنی‌دار نداشت و از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۴- الف). نمودار اثر ساده کیتوزان بر کلروفیل *a* نشان داد، با کاربرد کیتوزان محتوای کلروفیل *a* حدود ۱۵ درصد نسبت به سطح شاهد کمتر شد (شکل ۴- ب).

براساس یافته‌ها، در شرایط آبیاری معمولی کاربرد کیتوزان بدون

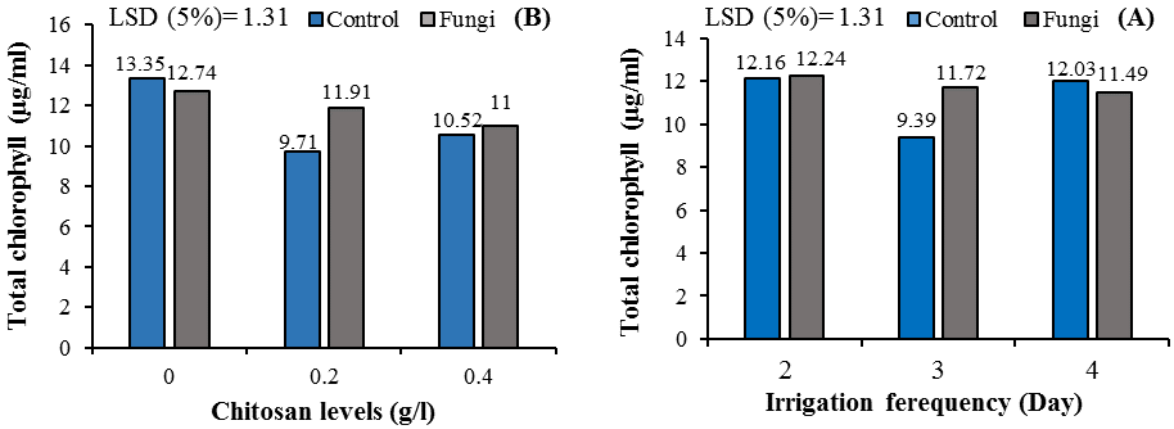
تلقیح قارچ سبب کاهش کلروفیل *b* شد در حالی که، کاربرد ۰/۲ کیتوزان در گیاهان همزیست‌شده با قارچ سبب افزایش کلروفیل *b* به‌میزان ۶۸ درصد شد. در شرایط کم‌آبیاری سه روز، کاربرد ۰/۲ کیتوزان با تلقیح قارچ باعث افزایش کلروفیل *b* به‌میزان ۳۸ درصد نسبت به شرایط بدون تلقیح قارچ شد. در شرایط کم‌آبیاری چهار روز، کاربرد سطح ۰/۴ گرم در لیتر کیتوزان باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل *b* در حدود ۲۹ درصد شد (جدول ۶).

جدول ٦- برهم‌کنش قارچ و کیتوزان بر کلروفیل *b* (میکروگرم در میلی‌لیتر) در دورهای مختلف آبیاری

Table 6- Interaction of fungus and chitosan on Chlorophyll *b* (μg.ml^{-1}) in different irrigation periods

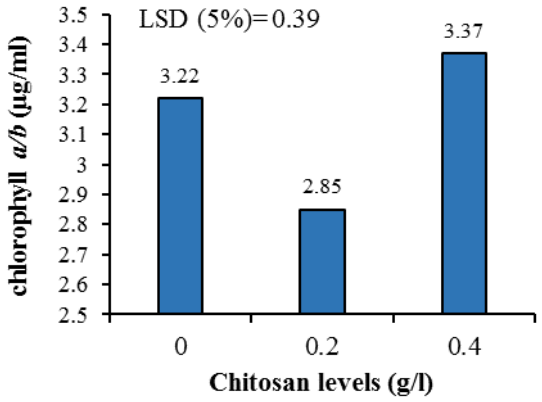
قارچ Fungus	کیتوزان Chitosan levels (g.l^{-1})	دور آبیاری Irrigation interval (Day)		
		2	3	4
شاهد Control	0	3.61	2.52	3.54
	0.2	2.17	2.26	2.41
	0.4	2.91	2.32	2.6
قارچ تریکودرما *Trichoderma* fungus	0	2.74	2.87	2.48
	0.2	3.65	3.13	2.25
	0.4	2.48	2.25	3.37
LSD (5%)			0.73	

نتایج اثر متقابل کم‌آبیاری و قارچ نشان داد که کلروفیل کل در همه شرایط در بالاترین میزان خود با میانگین حدود ۱۲-۱۱ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود و تنها در شرایط عدم تلقیح با قارچ و آبیاری سه روز کلروفیل کل کاهش پیدا کرد و به ۹/۳۹ میکروگرم بر میلی‌لیتر رسید. بیشترین افزایش اثر قارچ (حدود ۲۵ درصد) در شرایط کم‌آبیاری سه روز مشاهده شد (شکل ۵- الف). محلول‌پاشی ۰/۲ گرم در لیتر در گیاهان همزیست‌شده با قارچ حدود ۱۸ درصد محتوای کلروفیل کل را در مقایسه با گیاهان شاهد بهبود بخشید. در مقایسه، این افزایش در سطح ۰/۴ گرم در لیتر کیتوزان از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت (شکل ۵- ب). بیشترین نسبت کلروفیل *a/b* در اثر ساده کیتوزان، در سطح ۰/۴ کیتوزان با میانگین ۳/۳۷ مشاهده شد، امّا اختلاف معنی‌داری با سطح صفر نداشت. در مقایسه، کاربرد ۰/۲ کیتوزان نسبت کلروفیل *a/b* را کاهش داد (شکل ۶). بیشترین محتوای کاروتنوئید در شرایط کم‌آبیاری چهار روز با میانگین ۲/۱۴ و حدود ۱۲ درصد افزایش نسبت به سطح شاهد مشاهده شد (شکل ۷).



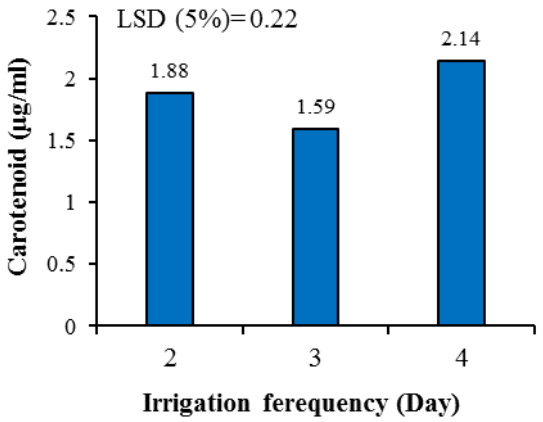
شکل ۵- برهم‌کنش کم‌آبیاری و قارچ (آ) و قارچ و کیتوزان (ب) بر محتوای کلروفیل کل برگ ریحان

Fig. 5- Interaction of deficit irrigation fungus (A) and fungus and chitosan (B) on the total chlorophyll content of basil leaves



شکل ٦- اثر کیتوزان بر نسبت کلروفیل *a/b* ریحان

Fig. 6- The effect of chitosan on the chlorophyll *a/b* ratio of basil



شکل ۷- اثر کم‌آبیاری بر محتوای کاروتنوئید برگ ریحان

Fig. 7- The effect of irrigation deficit on the carotenoid content of basil leaves

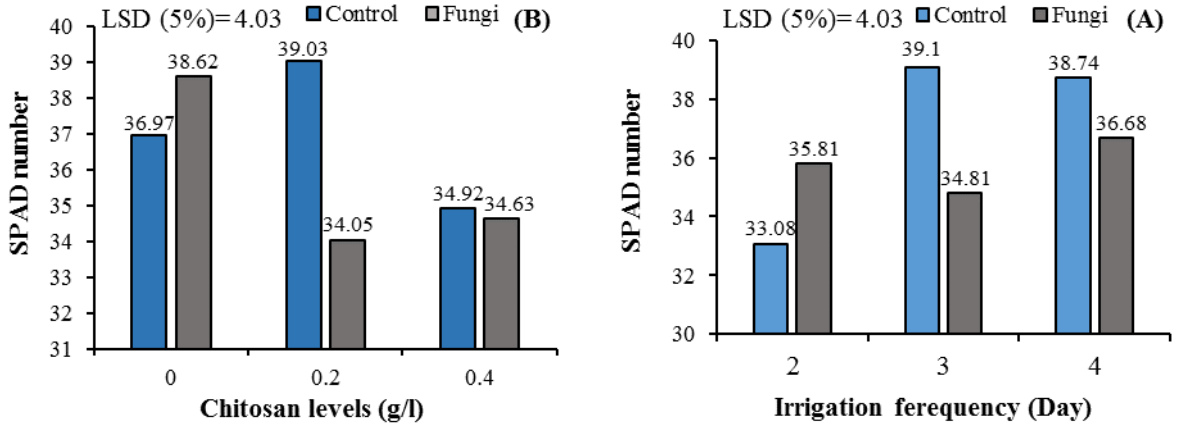
در بررسی اثر متقابل کم‌آبیاری و قارچ، بیشترین میزان عدد کلروفیل‌متر در زمان تنش کم‌آبیاری متوسط و شدید و عدم تلقیح با قارچ به‌ترتیب با میانگین‌های ۳۹/۱۰ و ۳۸/۷۴ بود. بیشترین افزایش اثر قارچ (حدود ۸/۵ درصد) مربوط به دور آبیاری دو روز بود (شکل ۸- الف). بررسی اثر متقابل قارچ تریکودرما و کیتوزان نشان داد که بیشترین میزان عدد اسپد با میانگین ۳۹/۰۳ در سطح ۰/۲ کیتوزان و در عدم حضور قارچ بود. تلقیح با قارچ در سطح ۰/۲ کیتوزان محتوای کلروفیل برگ را حدود ۱۳ درصد کاهش داد. بیشترین افزایش اثر قارچ (حدود پنج درصد) مربوط به سطح صفر کیتوزان بود (شکل ۸- ب).

نتایج بیانگر این است که با افزایش دور آبیاری، مقدار کلروفیل *a*، *b* و کلروفیل کل کاهش پیدا کرد، در حالی میزان کاروتنوئید افزایش یافت. نتایج آزمایش عقلمند و همکاران (Aghlmand et al., 2017) روی گیاه ریحان نیز نشان‌دهنده کاهش کلروفیل *a* و *b* تحت تنش خشکی است که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. توضیح این که کاهش فتوسنتز تحت اثر افزایش دور آبیاری بدلیل اختلال در فرآیندهای شیمیایی مسیر فتوسنتزی است. هرچند فتوسیستم II تا حد زیادی نسبت به خشکی متحمل است، امّا تنش خشکی می‌تواند مانع انتقال الکترون در این نظام شود، از این رو از کارایی فتوسنتز کاسته می‌شود (Lashkari, 2013). علاوه‌براین در شرایط تنش، کمبود آب باعث تجزیه کلروفیل گردیده و گلوتامات که پیش‌ماده کلروفیل و پرولین است در اثر این تنش به پرولین تبدیل شده و در نتیجه، از محتوی کلروفیل کاسته می‌شود (Lawler & Cornic, 2002).

افزایش میزان کاروتنوئیدها در شرایط تنش نیز با توجه به نقش آن‌ها در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی برای محافظت از رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل) قابل انتظار است. این افزایش در تنش خشکی شدید نشان‌دهنده نقش آن در تعدیل میزان رادیکال‌های فعال اکسیژن می‌باشد (Navabpour et al., 2015). از سویی دیگر، گزارش شده است که به‌دنبال تنش خشکی آناتومی برگ نیز تغییر یافته و برگ‌ها کوچک‌تر و ضخیم‌تر می‌شوند و در نتیجه، غلظت کلروفیل‌ها به‌ویژه کلروفیل *b* و کاروتنوئیدها در واحد سطح برگ بیشتر می‌شود. بدین ترتیب، ممکن است میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ کمتر تحت تأثیر قرار گیرد، امّا میزان فتوسنتز در برگ و کل گیاه کاهش می‌یابد (Kalantar Ahmadi et al., 2014).

همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد، کاربرد کیتوزان به‌تنهایی کلروفیل *a*، *b* و کلروفیل کل را کاهش داد، در حالی که باعث افزایش نسبت کلروفیل *a/b* شد. تلقیح با قارچ تریکودرما در شرایط تنش کم‌آبیاری و کاربرد کیتوزان توانست مقدار کلروفیل کل را افزایش دهد. افزایش کلروفیل در شرایط کاربرد کیتوزان، به اثرات مثبت ناشی از افزایش دسترسی به ترکیبات آمینواسیدی آزاد شده توسط کیتوزان ارتباط داده شده است (Chibu & Susuma, 2001). گزارش‌های متعددی در مورد تأثیر مثبت کیتوزان بر رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاهانی همچون زنیان (*Carum cupticum* L.) (Khajeh & Naderi, 2014)، سویا و باقلا (*Vicia faba* L.) (Dzung et al., 2011)، بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) و قهوه (Sheikha et al., 2009) ارائه شده است. برخی پژوهشگران بر

این باور هستند که مصرف کیتوزان با تأثیر روی ژن‌های مسئول سازنده کلروفیل، تولید کلروفیل را افزایش می‌دهد (Heng et al., 2012). گروهی از پژوهشگران نیز دریافتند که کیتوزان در افزایش کلروفیل و فتوسنتز نقش دارد و علاوه‌براین، اثبات کردند که کیتوزان بیان ژن کلروپلاست برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Limpanavech et al., 2008).



شکل ۸- برهم‌کنش کم‌آبیاری و قارچ (آ) و قارچ و کیتوزان (ب) بر عدد SPAD در گیاه ریحان

Fig. 8- Interaction of deficit irrigation fungus (A) and fungus and chitosan (B) on SPAD number in basil plant

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کم‌آبیاری، قارچ تریکودرما و کیتوزان بر عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس گیاه ریحان

Table 7- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of irrigation deficit, *Trichoderma* fungus, and chitosan on dry matter yield, percentage, and yield of basil plant essential oil

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares		
		عملکرد ماده خشک Dry matter yield	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield
بلوک Block	2	13765.6	0.001	28.10*
کم‌آبیاری (D) Irrigation deficit	2	185763.1**	0.008*	245.29**
خطای اصلی Main error	4	4648.3	0.006*	49.19**
قارچ (F) Fungi	1	4423.5	0.043**	8.75
کیتوزان (C) Chitosan	2	20739.5	0.103**	215.60**
D×F	2	31326.7*	0.008*	36.62*
F×C	2	7091.1	0.007*	30.00*
D×C	4	20414.7*	0.116**	191.70**
D×F×C	4	58447.2**	0.042**	73.92**
خطای آزمایش Error	12	6164.3	0.001	6.89
ضریب تغییرات C.V (%)		17.78	8.95	21.15

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

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

عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کم‌آبیاری بر عملکرد ماده خشک ریحان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل دوگانه کم‌آبیاری و قارچ و اثر متقابل کم‌آبیاری و کیتوزان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شدند و اثر متقابل سه‌گانه تیمارها نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که اثر ساده تنش کم‌آبیاری، برای درصد اسانس در سطح احتمال پنج درصد و برای عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر ساده قارچ تنها برای درصد اسانس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر ساده کیتوزان برای هر دو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه تیمارها برای درصد و عملکرد اسانس معنی‌دار شدند (جدول ۷).

برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها نشان داد، بیشترین مقادیر عددی عملکرد ماده خشک ریحان با میانگین ۷۶۵/۶۰ گرم در مترمربع در شرایط آبیاری نرمال، تلقیح با قارچ تریکودرما و محلول‌پاشی سطح ۰/۴ گرم در لیتر کیتوزان به‌دست آمد. کمترین میزان عملکرد ماده خشک نیز با میانگین ۱۹۲/۸۰ گرم در مترمربع در شرایط تنش کم-آبیاری با دور سه روز، عدم تلقیح با قارچ و سطح صفر کیتوزان بود (جدول ۸). کاهش تولید ماده خشک گیاهی در شرایط کم‌آبی در گیاهان لوپن (*Lupinus albus* L.) (Agarwal et al., 2005)، بادام زمینی (Vurayai et al., 2011) و همیشه‌بهار (Waseem et al., 2010) نیز گزارش شده است. تأثیر افزاینده محلول‌پاشی کیتوزان بر رشد اندام‌هوایی گیاهان بامیه (*Hibiscus esculentus* L.) (Mondal et al., 2012)، سیر (*Allium sativum* L.) (Gupta & Kaur, 2005) و گندم (Zeng & Luo, 2012) در غلظت‌های ۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر کیتوزان گزارش شده است.

براساس یافته‌های حاصل از اثر متقابل سه‌گانه تیمارها، بیشترین میزان درصد اسانس با میانگین ۰/۸۸ درصد در شرایط آبیاری نرمال، کاربرد قارچ تریکودرما و سطح صفر کیتوزان مشاهده شد. کمترین میزان آن با میانگین ۰/۲۲ درصد در همین شرایط، امّا در سطح ۰/۲ کیتوزان بود (جدول ۹). بیشترین میزان عملکرد اسانس نیز با میانگین ۴۲/۸۷ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبیاری نرمال، کاربرد قارچ و سطح صفر کیتوزان بود. کمترین میزان آن با میانگین ۲/۲۵ کیلوگرم در هکتار در دور آبیاری سه روز، عدم کاربرد قارچ و در سطح صفر کیتوزان ثبت شد (جدول ۱۰). نتایج نشان داد که افزایش دور آبیاری به همراه کاربرد کیتوزان و تلقیح قارچ، درصد و عملکرد اسانس را افزایش داد. کیتوزان به همراه کاربرد قارچ تریکودرما درصد و عملکرد اسانس را افزایش داد، ولی با افزایش دور آبیاری، کیتوزان به‌تنهایی درصد و عملکرد اسانس را کاهش داد و فقط در دور آبیاری سه روز، درصد اسانس را نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۱۰). مشخص شده است که کاربرد کیتوزان به‌عنوان یک محرک گیاهی می‌تواند موجب تحریک سنتز و افزایش قابل ملاحظه متابولیت‌های ثانویه در گیاهان گردد (Sheikha et al., 2009).

جدول ۸- برهم‌کنش قارچ و کیتوزان بر عملکرد ماده خشک ریحان (گرم در مترمربع) در دورهای مختلف آبیاری

Table 8- Interaction of fungus and chitosan on dry matter yield of basil ($g.m^{-2}$) in different irrigation periods

قارچ Fungus	کیتوزان Chitosan levels ($g.l^{-1}$)	دور آبیاری (روز) Irrigation interval (Day)		
		2	3	4
شاهد Control	0	696.40	192.80	313.87
	0.2	655.20	445.20	262.80
	0.4	750.20	401.07	436.80
قارچ *Trichoderma* fungus	0	428.00	476.40	294.40
	0.2	484.40	297.60	629.87
	0.4	765.60	396.80	199.60
LSD (5%)			169.97	

جدول ۹- برهم‌کنش قارچ و کیتوزان بر درصد اسانس ریحان در دورهای مختلف آبیاری

Table 9- Interaction of fungus and chitosan on the percentage of basil essential oil in different irrigation periods

قارچ Fungus	کیتوزان Chitosan levels ($g.l^{-1}$)	دور آبیاری (روز) Irrigation interval (Day)		
		2	3	4
شاهد Control	0	0.56	0.32	0.48
	0.2	0.41	0.26	0.24
	0.4	0.38	0.82	0.30
قارچ *Trichoderma* fungus	0	0.88	0.33	0.34
	0.2	0.22	0.29	0.48
	0.4	0.43	0.85	0.62
LSD (5%)			0.12	

جدول ۱۰- برهم‌کنش قارچ و کیتوزان بر عملکرد اسانس ریحان (کیلوگرم در هکتار) در دورهای مختلف آبیاری

Table 10 - Interaction of fungus and chitosan on the yield of basil essential oil ($kg.ha^{-1}$) in different irrigation periods

قارچ Fungus	کیتوزان Chitosan levels ($g.l^{-1}$)	دور آبیاری (روز) Irrigation interval (Day)		
		2	3	4
شاهد Control	0	27.46	2.25	7.90
	0.2	13.05	8.34	4.54
	0.4	32.16	18.62	8.97
قارچ *Trichoderma* fungus	0	42.87	7.18	5.44
	0.2	7.11	6.57	13.06
	0.4	8.63	14.34	20.00
LSD (5%)			10.23	

گروهی از پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد کیتوزان در شرایط تنش خشکی منجر به افزایش درصد و عملکرد اسانس در گیاه دارویی آویشن دنایی گردید و دلیل آن را نقش کیتوزان در فعال‌سازی ژن‌های جدید و مسیرهای بیوسنتزی مختلف در جهت تولید متابولیت‌های ثانویه برشمردند (Emami Bistgani et al., 2017). کاربرد قارچ تریکودرما، درصد و عملکرد اسانس را افزایش داد که با نتایج وفائی رستمی و همکاران (Vafaei Rostami et al., 2019) در گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) مطابقت داشت. خالوندی و همکاران (Khalvandi et al., 2017) بیان نمودند که تلقیح گیاه نعناع فلفلی با قارچ *پیریفورموسپورا ایندیکا* سبب کاهش آثار منفی تنش بر عملکرد اسانس و وزن خشک این گیاه شده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از رشد گیاه ریحان در شرایط کم‌آبیاری، می‌توان نتیجه گرفت که رشد گیاه ریحان به شرایط کمبود آب حساس بوده و کاهش صفات رشدی از جمله طول ساقه، وزن خشک برگ، ساقه، ریشه و عملکرد ماده خشک را در پاسخ به شرایط کم-آبیاری به دنبال داشت؛ در حالی که طول ریشه بیشتر شد. همچنین با افزایش دور آبیاری، مقدار کلروفیل *a*، *b* و کلروفیل کل کاهش پیدا کرد، امّا میزان کاروتنوئید بیشتر شد. تلقیح قارچ تریکودرما و کاربرد کیتوزان در شرایط کم‌آبیاری توانست مقدار کلروفیل کل را افزایش دهد. بیشترین میزان درصد و عملکرد اسانس در هر دو شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری با کاربرد قارچ تریکودرما و کیتوزان حاصل شد. در مجموع، محلول‌پاشی کیتوزان توانست اثرات مضر ناشی از کم‌آبیاری را در این گیاه کاهش داده و سبب بهبود رشد گیاه در این شرایط شود. محلول‌پاشی ۰/۲ گرم در لیتر کیتوزان در شرایط کم‌آبیاری چهار روز و همچنین تلقیح گیاه با قارچ تریکودرما توانست بهترین نتیجه را به همراه داشته باشد.

سپاسگزاری

به‌این‌وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان برای اجرای این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Abdel-Mawgoud, A.M.R., Tantawy, A.S., El-Nemr, M.A., & Sassine, Y.N. (2010). Growth and yield responses of strawberry plants to chitosan application. *European Journal of Scientific Research*, *39*(1), 170-177.
2. Abdel-Monaim, M.F. (2013). Improvement of biocontrol of damping-off and root rot/wilt of faba bean by salicylic acid and hydrogen peroxide. *Mycobiology*, *41*(1), 47-55. https://doi.org/10.5941/MYCO.2013.41.1.47.
3. Adams, R.P. (2017). Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. 5 online ed. *Gruver, TX USA: Texensis Publishing*.
4. Agarwal, S., Sairam, R.K., Srivastava, G.C., & Meena, R.C. (2005). Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. *Biologia Plantarum*, *49*, 541-550. https://doi.org/10.1007/s10535-005-0048-z
5. Aghlmand, S., Poor Ismailpour, B., Jalilvand, P., Heidari, H.R., & Tavakoli Hassankloo, N. (2017). The effect of salicylic acid and paclobutrazol on growth and physiological traits of basil under water stress. *Journal of Plant Process and Function*, *6*(19), 35-46. (In Persian with English Summary)
6. Anith, K.N., Faseela, K.M., Archana, P.A., & Prathapan, K.D. (2011). Compatibility of *Piriformospora indica* and *Trichoderma harzianum* as dual inoculants in black pepper (*Piper nigrum* L.). *Symbiosis*, *55*, 11-17. https://doi.org/10.1007/s13199-011-0143-1.
7. Arriagada, C., Aranda, E., Sampedro, I., Garcia-Romera, I., & Ocampo, J.A. (2009). Contribution of the saprobic fungi *Trametes versicolor* and *Trichoderma harzianum* and *the arbuscular mycorrhizal* fungi *Glomus deserticola* and *G. claroideum* to arsenic tolerance of *Eucalyptus globulus*. *Bioresource Technology*, *100*(24), 6250-6257. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.010.
8. Bae, H., Sicher, R.C., Kim, M.S., Kim, S.H., Strem, M.D., Melnick, R.L., & Bailey, B.A. (2009). The beneficial endophyte *Trichoderma hamatum* isolate DIS 219b promotes growth and delays the onset of the drought response in Theobroma cacao. *Journal of Experimental Botany*, *60*(11), 3279-3295. https://doi.org/10.1093/jxb/erp165.
9. Bazazi, N., Khodam Bashi, M., & Mohammadi, S. (2013). The effect of drought stress on morphological characteristics and yield components of fenugreek. *Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products*, 11, 3-23. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.123365.2400.
10. Boonlertnirun, S., Boonraung, C., & Suvanasara, R. (2008). Application of chitosan in rice production. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, *18*(2).
11. Chibu, H., Shibayama, H., & Arima, S. (2002). Effects of chitosan application on the shoot growth of rice and soybean. *Japanese Journal of Crop Science*, *71*(2), 206-211. https://doi.org/10.1626/jcs.71.206.
12. Chmielewski, A.G., Migdal, W., Swietoslawski, J., Jakubaszek, U., & Tarnowski, T. (2007). Chemical-radiation degradation of natural oligoamino-polysaccharides for agricultural application. *Radiation Physics and Chemistry*, *76*(11-12), 1840-1842. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2007.04.013.
13. Clarke, J.M., & McCaig, T.N. (1993). Breeding for efficient root systems. In *Plant breeding: principles and prospects* (pp. 485-499). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1524-7_29.
14. Doni, F., Isahak, A., Che Mohd Zain, C.R., & Wan Yusoff, W.M. (2014). Physiological and growth response of rice plants (*Oryza sativa* L.) to Trichoderma spp. inoculants. *Amb Express*, *4*, 1-7. https://doi.org/10.1186/s13568-014-0045-8.
15. Dutta, P.K., Dutta, J., & Tripathi, V.S. (2004). Chitin and chitosan: Chemistry, properties and applications.
16. Dzung, N.A., Khanh, V.T.P., & Dzung, T.T. (2011). Research on impact of chitosan oligomers on biophysical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee. *Carbohydrate Polymers*, *84*(2), 751-755. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.066.
17. El-Tantawy, E.M. (2009). Behavior of tomato plants as affected by spraying with chitosan and aminofort as natural stimulator substances under application of soil organic amendments. *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS*, *12*(17), 1164-1173. https://doi.org/10.3923/pjbs.2009.1164.1173.
18. Emami Bistgani, Z., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A., Pirbalouti, A.G., & Hashemi, M. (2017). Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak. *The Crop Journal*, *5*(5), 407-415. https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003.
19. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N.S.M.A., Fujita, D.B.S.M.A., & Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress:

effects, mechanisms and management. *Sustainable Agriculture*, 153-188. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_12.

20. Gerami, M., Majidian, P., Ghorbanpour, A., & Alipour, Z. (2020). *Stevia rebaudiana* Bertoni responses to salt stress and chitosan elicitor. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *26*(5), 965-974. https://doi.org/10.1007/s12298-020-00788-0.
21. Ghoname, A.A., El-Nemr, M.A., Abdel-Mawgoud, A.M.R., & El-Tohamy, W.A. (2010). Enhancement of sweet pepper crop growth and production by application of biological, organic and nutritional solutions. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, *6*(3), 349-355.
22. Gupta, A.K., & Kaur, N. (2005). Sugar signalling and gene expression in relation to carbohydrate metabolism under abiotic stresses in plants. *Journal of Biosciences*, *30*, 761-776. https://doi.org/10.1007/BF02703574.
23. Hashem, A., Abd_Allah, E.F., Alqarawi, A.A., Al Huqail, A.A., & Egamberdieva, D. (2014). Alleviation of abiotic salt stress in *Ochradenus baccatus* (Del.) by *Trichoderma hamatum* (Bonord.) Bainier. *Journal of Plant Interactions*, *9*(1), 857-868. https://doi.org/10.1080/17429145.2014.983568.
24. Heng, Y., Frette, X.C., Christensen, L.P., & Grevsen, K. (2012). Chitosan oligosaccharides promote the content of polyphenols in Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. hirtum). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*(1), 136-143. https://doi.org/10.1021/jf204376j.
25. Hidalgo, L., Argelles, W., Peniche, C., Pino, M., & Terry, E. (1996). Effect of chitosan in seed treatment of tomato. *Revista de Protection Vegeta*, *11*(1), 37-39.
26. Hirano, S. (1996). Chitin biotechnology applications. *Biotechnology Annual Review*, *2*, 237-258. https://doi.org/10.1016/S1387-2656(08)70012-7.
27. Hussaini Begum, M., Taheri, G.H., Vaezi Kakhaki, M.R., & Tlaty, M. (2013). Foliar application of chitosan on growth and morphological characteristics of marigold (*Calendula officinalis*). *National Conference of Passive Defense in the Agricultural Sector, Ahvaz, Iran, 6 September 2013*. (In Persian with English Summary).
28. Iriti, M., & Faoro, F. (2009). Chitosan as a MAMP, searching for a PRR. *Plant Signaling & Behavior*, *4*(1), 66-68. https://doi.org/10.4161/psb.4.1.7408.
29. John, R.P., Tyagi, R.D., Prevost, D., Brar, S.K., Pouleur, S., & Surampalli, R.Y. (2010). Mycoparasitic *Trichoderma viride* as a biocontrol agent against *Fusarium oxysporum* f. sp. *adzuki* and *Pythium arrhenomanes* and as a growth promoter of soybean. *Crop Protection*, *29*(12), 1452-1459. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.08.004.
30. Kaewchai, S., Soytong, K., & Hyde, K.D. (2009). Mycofungicides and fungal biofertilizers. *Fungal Diversity*, 38, 25-50.
31. Kalantar Ahmadi, S.A., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., Daneshian, J., & Siadat, S.A. (2014). Effects of water stress and nitrogen on changes of some amino acids and pigments in canola. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 4, 114-122. (In Persian with English Summary).
32. Kapoor, R., Giri, B., & Mukerji, K.G. (2004). Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology*, *93*(3), 307-311. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.028.
33. Khajeh, H., & Naderi, S. (2014). The effect of chitosan on some antioxidant enzyme activity and biochemical traits of Melissa. *Journal of Crop Science in Dry Areas*, 1, 100-116. (In Persian with English Summary).
34. Khalvandi, M., Amerian, M., Pirdashti, H., & Baradaran Firouzabadi, M., & Gholami, A. (2017). Effect of *Piriformospora indica* on the quantity of essential oil and some physiological traits of peppermint in salinity stress. *Plant Biology*, *9*(32), 2-19. (In Persian with English Summary)
35. Kiani, S. P., Maury, P., Sarrafi, A., & Grieu, P. (2008). QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. *Plant Science*, *175*(4), 565-573. http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2008.06.002.
36. Labra, M., Miele, M., Ledda, B., Grassi, F., Mazzei, M., & Sala, F. (2004). Morphological characterization, essential oil composition and DNA genotyping of *Ocimum basilicum* L. cultivars. *Plant Science*, *167*(4), 725-731. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.04.026.
37. Larcher, W. (2001). Physiological plant ecology. *Springer verlage Berlin Heidelberg NewYork, Germany*. 513 pp.
38. Lashkari, F. (2013). The effect of polymer and superabsorbent, potassium and animal manure on quantitative and qualitative characteristics of *Carla medicinal* plant in different irrigation cycles. *Master Thesis in Agriculture*,

Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran. (In Persian with English Summary)

39. Lawlor, D.W., & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment*, *25*(2), 275-294. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x.
40. Levitt, J. (1980). *Responses of Plants to Environmental Stress, Volume 1: Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses*. Academic Press.497 pp.
41. Limpanavech, P., Chaiyasuta, S., Vongpromek, R., Pichyangkura, R., Khunwasi, C., Chadchawan, S., & Bangyeekhun, T. (2008). Chitosan effects on floral production, gene expression, and anatomical changes in the Dendrobium orchid. *Scientia Horticulturae*, *116*(1), 65-72. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.034.
42. Mahdavi, B., Modares Sani, A.M., AghaAlikhani, M., & Sharifi, M. (2010). The effect of chitosan and water stress on morphological characteristics and root characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *The 11th Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding, Tehran, Iran, 24 July 2010*. (In Persian with English Summary)
43. Malekpour, F., Salimi, A., & Ghasemi Pirblouti, A. (2015). The effect of chitosan biostimulant on physiological traits of purple basil under dehydration stress. *Journal of Plant Ecophysiology 8*(27), 71-56. (In Persian with English Summary).
44. Mrkovacki, N., Marinković, J., Cacic, N., & Bjelic, D. (2010). Microbial abundance in rhizosphere of sugarbeet in dependance of fertilization and inoculation with azotobacter chroococcum. *Research Journal of Agricultural Science*, *42*(3), 260-264.
45. Mohammadi Kashka, F., Pirdashti, H., Yaghoubian, Y., & Bahari Sarvai, S. H. (2016). Coexistence of *Trichoderma virens* and *Piriformospora indica* with bacteria. *Enterobacter sp* on vegetative growth and photosynthetic pigments of pepper plant (*Capsicum annuum* L.). *Scientific Journal of Plant Ecophysiology, 8*(26),: 121-133. (In Persian with English Summary)
46. Mohammadi, A., Ebrahimzadeh, H., Hadian, J., & Mir Masoumi, M. (2015.) Analysis of the effect of drought stress on some physiological and biochemical parameters of *Lippia citriodora* HBK. *Journal of Plant Research, 28*(3), 617-628. (In Persian with English Summary).
47. Mondal, M.M., Malek, M.A., Puteh, A.B., Ismail, M.R., Ashrafuzzaman, M., & Naher, L. (2012). Effect of foliar application of chitosan on growth and yield in okra. *Australian Journal of Crop Science*, *6*(5), 918-921.
48. Morello, J.R., Romero, M.P., Ramo, T., & Motilva, M.J. (2005). Evaluation of L-phenylalanine ammonia-lyase activity and phenolic profile in olive drupe (*Olea europaea* L.) from fruit setting period to harvesting time. *Plant Science*, *168*(1), 65-72. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.07.013.
49. Navabpour, S., Ramezanpour, S.S., & Mazandarani, A. (2015). Evaluation of changes in enzymatic and non-enzymatic defense systems of soybean cultivars in response to drought stress during reproductive development. Bi-Quarterly *Journal of Plant Production Technology*, *7*(2), 39-54. (In Persian with English Summary)
50. Nouri Akandi, Z., Makarian, H., Pirdashti, H., Amerian, M.R., Firoozabadi Brothers, M., & Tajik Ghanbari, M.A. (2020). The effect of some symbiotic fungi and iron nanoparticles on morphological and physiological parameters of *Portulaca oleracea* L. under cadmium stress. *Scientific Journal of Garden Nutrition*, *3*(1), 1-22. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22070/hpn.2020.5242.1075.
51. Porra, R.J. (2002). The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis Research*, *73*, 149-156. https://doi.org/10.1023/A:1020470224740.
52. Ramos-Garcia, M., Ortega-Centeno, S., Hernández-Lauzardo, A.N., Alia-Tejacal, I., Bosquez-Molina, E., & Bautista-Baños, S. (2009). Response of gladiolus (*Gladiolus* spp) plants after exposure corms to chitosan and hot water treatments. *Scientia Horticulturae*, *121*(4), 480-484. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.03.002.
53. Sajjadi, S.E. (2006). Analysis of the essential oils of two cultivated basils (*Ocimum basilicum* L.) from Iran. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, *14*(3), 128-130.
54. Salehi, S., & Rezayatmand, Z. (2017). The effect of foliar application of chitosan on yield and essential oil of savory (*Saturejaisophylla* L.) under salt stress. *Journal of Medicinal Herbs*, *8*(2), 101-108. https://doi.org/10.18869/JHD.2017.101.
55. Salimi, G.H., Faizian, M., & Ali Asgharzad, N. (2020). The effect of mycorrhiza inoculation on nutrient uptake

and essential oil components of *Dracocephalum moldavica* L. under drought stress. *Scientific Journal of Crop Ecophysiology*, *14*(3): 325-344. (In Persian with English Summary)

56. Sallam, N.M., Abo-Elyousr, K.A.M., & Hassan, M.A.E. (2008). Evaluation of *Trichoderma* species as biocontrol agents for damping-off and wilt diseases of *Phaseolus vulgaris* L. and efficacy of suggested formula. *Egypt. J. Phytopathol*, *36*(1-2), 81-93.
57. Sharma, P., Patel, A.N., Saini, M.K., & Deep, S. (2012). Field demonstration of *Trichoderma harzianum* as a plant growth promoter in wheat (*Triticum aestivum* L). *Journal of Agricultural Science*, *4*(8), 65. https://doi.org/10.5539/jas.v4n8p65.
58. Sheikha, S.A., & Al-Malki, F.M. (2011). Growth & chlorophyll responses of bean plants to the chitosan applications. *European Journal of Scientific Research*, *50*(1), 124-134.
59. Shukla, N., Awasthi, R.P., Rawat, L., & Kumar, J. (2012). Biochemical and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) as influenced by *Trichoderma harzianum* under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, *54*, 78-88. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.02.001.
60. Sodaizadeh, H., Shamsai, M., Tajmalian, M., Mir Mohammadi Meybodi, S.A.M., & Hakimzadeh, M.A. (2016). The effect of drought stress on some morphological and physiological traits of savory (*Satureja hortensis* L.). *Plant Process and Function*, *5*(15), 1-12. (In Persian with English Summary)
61. Taghavi Ghasemkheili, F., Pirdashti, H., Tajik Qanbari, M.A., & Bahmaniar, M.A. (2014). The effect of *Trichoderma harzianum* and cadmium on barley tolerance and yield index (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, *8*(4), 465-482. (In Persian with English Summary)
62. Taghinasab Darzi, M. (2012). The effect of some isolates of *Trichoderma* spp. On increasing the growth of cucumber seedlings. *Science and Technology of Greenhouse Cultivation*, *1*(3), 63-70. (In Persian with English Summary)
63. Uthairatanakij, A., Teixeira da Silva, J.A., & Obsuwan, K. (2007). Chitosan for improving orchid production and quality. *Orchid Science and Biotechnology*, *1*(1), 1-5.
64. Vafaei Rostami, S., Abbasi, R., Pirdashti, H., & Qajar Spanloo, M. (2019). The effect of *Piriformospora indica* and *Trichoderma harzianum* on morphological traits and yield of peppermint essential oil (*Mentha piperita*) at different levels of phosphorus and irrigation. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, *29*(4), 37-50. (In Persian with English Summary).
65. Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E.L., Marra, R., Woo, S.L., & Lorito, M. (2008). Trichoderma–plant–pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, *40*(1), 1-10. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.07.002.
66. Vurayai, R., Emongor, V., & Moseki, B. (2011). Effect of water stress imposed at different growth and development stages on morphological traits and yield of Bambara Groundnuts (*Vigna subterranea* L. Verdc). *American Journal of Plant Physiology*, *6*(1), 17-27.
67. Waseem, S., Majeed, H., Naveed, I., Kayani, W.K., Ahmed, H., Hussain, S., & Kamal, A. (2010). Pharmacognostical study of the medicinal plant *Calendula officinalis* L. (family Compositae). *International Journal of Cell & Molecular Biology*, *1*(2), 108-116.
68. Willmer, C.M., & Pricker, M. (1996). Stomata. (2nd Edn), Chapman and Hall, London, 375 pp.
69. Yagubian, Y., Pirdashti, H., Mohammadi GolTappeh, A., Faiziasl, V., & Esfandiari, A. (2012). Evaluation of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivar Azar 2 to coexistence with arbuscular and mycorrhizal fungi at different levels of drought stress. *Journal of Agricultural Ecology*, *4*(1), 63-73. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/jag.v4i1.14960.
70. Yang, F., Hu, J., Li, J., Wu, X., & Qian, Y. (2009). Chitosan enhances leaf membrane stability and antioxidant enzyme activities in apple seedlings under drought stress. *Plant Growth Regulation*, *58*, 131-136. https://doi.org/10.1007/s10725-009-9361-4
71. Zeng, D., & Luo, X. (2012). Physiological effects of chitosan coating on wheat growth and activities of protective enzymes with drought tolerance. *Journal of Soil Science*, *2*(3), 282-288. http://dx.doi.org/10.4236/ojss.2012.23034.
72. Zhili, J., Yong, L., Juanjuan, L., Xu, X., Li, H., Lu, D., & Jingying, W. (2012). Effects of exogenous chitosan on physiological characteristics of potato seedlings under drought stress and rehydration. *Potato Research*, 55, 293-

301. https://doi.org/10.1007/s11540-012-9223-8.

73. Ziaei, M., Sharifi, M., Naqdi Badi, H., Academic, J., & Ghorbani Nahuji, M. (2014). A review of the medicinal plant basil (*Ocimum basilicum* L.) with emphasis on the main secondary compounds and its agronomic and medicinal properties. *Quarterly Journal of Medicinal Plants, 13*(4), 26-41. (In Persian with English Summary).

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

Research Article
Vol. 15, No. 3, Fall 2023, p. 565-583

Thermal and Optical Response of Faba Bean (*Vicia faba* L.) to Summer Planting Date in Mazandaran Region

Ramazan Sarparast [1*]

Received: 24-10-2021
Revised: 07-01-2022
Accepted: 12-02-2022
Available Online: 12-02-2022

How to cite this article:
Sarparast, R. (2023). Thermal and optical response of faba bean (*Vicia faba* L.) to summer planting date in Mazandaran region. *Journal of Agroecology, 15(3),565-583.*
DOI: 10.22067/agry.2022.73157.1072

Introduction

Secondary or double cropping increases production per unit area and optimizes use of other production resources. Faba bean responds to and changes its environment by altering on-site soil fertility, microclimate, and wild flora and fauna co-habitats. Besides its worldwide use for food and feed, extensive knowledge exists about its ability to symbiotically fix and add nitrogen to the soil, making additional soil nitrogen available and enhancing and sustaining soil productivity. The optimum planting date optimizes the use of climatic factors such as temperature, humidity, and day length, as well as matching flowering time with appropriate temperature. Planting date should be set so that overheating does not harm the plant, especially during the flowering period. A change in planting date may also overshadow the plant's yield by affecting the adaptation of plant growth to environmental conditions and vegetative and reproductive growth (Oplinger *et al.*, 2000). Therefore, knowing the thermal indicators such as the heat accumulation unit, which in most sources is referred to as the degree of maturity days.All its other mathematical derivations are the same as the hlio-thermal unit (HTU), growing degree days (GDD), pheno-thermal index (PTI), crop heat unit (CHU), heat use efficiency (HUE), relative temperature disparity (RTD), It can provide basic principles for determining the phenological stages and the optimum planting date (Sreenivas *et al.*, 2010).

Materials and Methods

In order to investigate the effect of off-season sowing date (summer) on the accumulation of thermal units, yield and yield components in faba bean *var*. Luzde otono, an experiment was carried out as a split plot based on randomized complete blocks design with three replications during 2017-2018 for two years at Agricultural Research Station Gharakhil (gaem shahr). Experimental treatments were sowing dates in four levels of June 10, 30 ,July 20, and August 10, main plot, and row spacing in three levels of 45, 60, and 75 cm as subplots. During vegetative and reproductive phases, weeds were controlled, and data were recorded on days to flowering, days to maturity, plant height, harvest index, number of pods per plant, number of seeds per pod, 100-seed weight, and Green pod yield. Also, in maturity, marginal, yield, and yield components were calculated after removing the effect. Data were

1- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Research Deptment, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran.
(*- Corresponding author's Email: r.sarparast@areeo.ac.ir)

analyzed using the SAS. Ver. 9.1 and figures were drawn by EXCEL and means compared by using DMRT at the 5% probability level.

Results and Discussion

The analysis of variance showed that the effect of year and planting date and their interactions on number of pods per plant, pod length, plant height, and green pod yield were significant ($P \leq 0.01$). The unit of heliothermal was greater in 2018 (from 0.47 to 0.88) compared to 2017 (from 0.45 to 0.86); this was due to the increase in average air temperature and the number of sunshine hours. The highest heat use efficiency (HUE) was obtained related to the third sowing date (July 20) in 2018. Also, among the studied indicators are the heat use efficiency (HUE), the efficiency of consumption of sunny hours (RUE), and the estimated thermal requirement of faba bean *var***.** Luzde otono in different sowing dates and at different stages of development, and in this direction, due to having a constant and logical trend, they have a relative superiority over other indicators such as GDD and PTI.

Conclusion

The results of mean comparisons showed that the highest green pods yield Gained *var***.** Luzde otono in the third sowing date (July 20) with 10422 (kg ha^{-1}) and row spacing 60 cm with 10723 (kg ha^{-1}). Based on the results of this research, To escape from heat and thermal stress during the reproductive stage of Faba bean in mid-summer and poding did not coincide with a drop in temperature at the beginning of autumn to achieve the highest yield Faba bean *var***.** Luzde otono should be planted in August.

Keywords: Green pod, Heat use efficiency, Luzde otono, Second cropping, *var*.

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۵۸۳-۵۶۵

پاسخ حرارتی و نوری باقلا (*Vicia faba* L.)، به تاریخ کاشت تابستانه در منطقه مازندران

رمضان سرپرست[1*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳

چکیده

کشت دوم یا دوگانه گیاهان زراعی نه‌تنها باعث افزایش تولید در واحد سطح می‌گردد، بلکه استفاده بهینه از سایر منابع تولید را سبب می‌شود. به‌منظور بررسی تأثیر تاریخ کاشت خارج از فصل (تابستانه) بر تجمع واحدهای حرارتی، فنولوژی و عملکرد باقلا (*Vicia faba* L.) رقم لوزودی اوتونو، آزمایشی به‌صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی (۱۳۹۷- ۱۳۹۶) در ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی قراخیل (قائم‌شهر) انجام شد. در این آزمایش، چهار تاریخ کشت تابستانه (۲۰ خرداد، ۱۰ تیر، اول مرداد و ۲۰ مرداد) به‌عنوان کرت اصلی و سه فاصله ردیف‌های کشت ۴۵، ۶۰ و ۷۵ سانتی‌متر به‌عنوان کرت فرعی منظور شدند. نتایج نشان داد که واحد هلیوترمال در سال ۱۳۹۶ (از ۰/۴۷ تا ۰/۸۸) نسبت به سال ۱۳۹۷ (از ۰/۴۵ تا ۰/۸۶) بیشتر بود که دلیل این موضوع افزایش میانگین درجه حرارت هوا و تعداد ساعات آفتابی بود. بالاترین کارایی مصرف حرارت مربوط به تاریخ کاشت سوم (اول مرداد) در سال ۱۳۹۶ به‌دست آمد. همچنین از بین شاخص‌های مورد بررسی، کارآیی مصرف حرارت (HUE) و کارآیی مصرف تشعشع (RUE) نیاز حرارتی باقلا رقم لوزودی اوتونو را در تاریخ‌های کاشت مختلف و در مراحل متفاوت نموی به‌خوبی برآورد کرده و در این مسیر به‌دلیل دارا بودن روند ثابت و منطقی برتری نسبی بر سایر شاخص‌ها مانند درجه روز رشد (GDD) و شاخص فتوترمال (PTI) دارند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد غلاف‌سبز باقلا در تیمار فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر با ۱۰۷۲۳ کیلوگرم در هکتار و همچنین در تاریخ کشت سوم (اول مرداد) با ۱۰۴۲۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست امد.

واژه‌های کلیدی: غلاف سبز، کارایی مصرف حرارت، کشت دوم

مقدمه

باقلا (*Vicia faba* L.) به‌عنوان گیاهی با قابلیت تثبیت نیتروژن اتمسفر و افزایش حاصلخیزی خاک، نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود شرایط زیستی، میکروکلیمایی و پایداری اکوسیستم زراعی دارد (Kopke & Nemecek, 2010). در ایران، باقلا با دو هدف، تولید غلاف‌سبز و دانه خشک کشت می‌گردد، ضمن این که پس از برداشت غلاف‌سبز، از شاخ و برگ آن نیز به‌عنوان کود سبز یا علوفه استفاده می‌شود (Khalil et al., 2010). استان مازندران با سطح کشت بیش از ۴۸۰۰ هکتار از مناطق اصلی کشت و تولید باقلا به‌شمار می‌رود (Sarparast et al., 2016). استفاده از قابلیت تثبیت زیستی نیتروژن به‌وسیله گیاهان خانواده بقولات در تناوب با برنج (*Oryza sativa* L.) نیز می‌تواند راهکار مناسبی در کاهش مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه و در نتیجه، کاهش آلودگی محیط زیست و آب‌های زیرزمینی باشد (Shah et al., 2003). همچنین، آیساک و همکاران (Isaac et al., 2008) نشان دادند، افزودن بقایای گیاهی غنی از نیتروژن (مانند بقولات) باعث افزایش ذخایر نیتروژن آلی خاک و افزایش سرعت معدنی‌شدن نیتروژن شده و نیاز گیاه به کودهای شیمیایی حاوی نیتروژن را تا حدودی برطرف می‌سازد. احمد و همکاران (Ahmad et al., 2008) گزارش نمودند،

۱- استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: r.sarparast@areeo.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2022.73157.1072

عملکرد برنج در صورت کاشت آن در یک تناوب بقولات – برنج به‌میزان ۶۰۰ تا ۱۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشتر از عملکرد برنج در یک تناوب برنج– برنج بود. البته افزایش عملکرد غلات در صورت کاشت پس از گیاهان خانواده بقولات، به گونه بقولات، گونه محصول اصلی و مکان انجام آزمایش بستگی دارد (Luce et al., 2015).

از آنجا که گیاهان در شرایط آب و هوایی متفاوت، مراحل رشدی خود را با سرعت‌های متفاوتی طی می‌کنند، کشت در تاریخ‌های مختلف موجب می‌شود که گیاه مراحل رشد و نمو خود را در شرایط آب و هوایی متفاوت بگذراند که باعث بروز تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در گیاه و بروز تغییرات در عملکرد کمی و کیفی آن‌ها خواهد شد(Seghatoleslami & Ahmadi Bonakdar, 2010). تاریخ کاشت مناسب موجب بهره‌گیری بهینه از عوامل اقلیمی نظیر تشعشع، درجه حرارت، رطوبت، طول روز و همچنین تطابق زمان گل‌دهی با درجه حرارت مناسب شده و باید طوری تنظیم گردد که گرمای بیش از حد هوا به‌خصوص در دوره گل‌دهی به گیاه آسیب نرساند. همچنین تغییر در تاریخ کاشت با تأثیر بر انطباق مراحل رشد گیاه با شرایط محیطی، رشد رویشی و زایشی عملکرد گیاه را تحت‌الشعاع قرار دهد (Oplinger et al., 2000). بنابراین، می‌توان گفت، تاریخ کاشت یکی از مهم‌ترین عوامل جهت حصول حداکثر عملکرد است. تغییر در تاریخ کاشت می‌تواند جایگزینی مناسب برای رشد و توسعه گیاه برای اجتناب از خشکی و درجه حرارت بالا در دوره بحرانی رشد باشد (Khajepour, 1993). آیساک و همکاران (Isaac et al., 2008) اظهار نمودند، تاریخ کشت مناسب سبب بهینه شدن طول دوره رشد و گسترش اندام‌های رویشی شده و پتانسیل انتقال مواد فتوسنتزی به قسمت‌های ذخیره‌ای از جمله دانه را افزایش می‌دهد. در نیوزلند کشت باقلای رقم لوزو اوتونو به‌صورت تابستانه، در حدود ۱۱ هزار هکتار از زمین‌های زراعی فرصت مضاعفی را برای تولید باقلا سبز و تازه (غلاف‌سبز) در غیر از فصل رایج، ایجاد کرد (Kharrt & Ouchari, 2010). کیانبخت و همکاران (Kianbakht et al., 2014) در بررسی عملکرد سه رقم باقلا برکت، هیستال و لوزدی اوتونو در چهار تاریخ کشت (۲۰ شهریور، ۲۷ مهر، ۲۰ آبان، ۲۷ آذر، ۲۱ دی) در منطقه گرگان، گزارش کردند، بیشترین عملکرد بیولوژیک (غلاف‌سبز) مربوط به رقم لوزودی اوتونو به‌مقدار ۳۳۳۰۰ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۲۰ شهریور بوده است. سرپرست و همکاران (Sarparast et al., 2016) نشان دادند، که رقم لوزودی - اوتونو در کاشت پاییزه توانست به‌ترتیب با ۸۱/۷، ۱۱۸/۷ و ۱۵۹/۱ روز، کمترین روز از کاشت تا گل‌دهی، غلاف‌دهی و رسیدگی را به‌دست آورده و زودرس‌ترین ژنوتیپ محسوب گردد.

گیاهان پیش از وارد شدن به مرحله مشخصی از مراحل فنولوژیک خود لازم است که مقدار دمای معینی را دریافت کنند و از این مقدار دمای تجمعی به‌منظور پیش‌بینی فنولوژی و همچنین ویژگی‌های عملکردی گیاهان در قالب مدل‌سازی استفاده می‌شود (Jones et al., 2003). درجه حرارت تقریباً در تمام فرآیندهای بیولوژیکی گیاهان زراعی نقش کلیدی دارد و یکی از مهم‌ترین وقایع محیطی می‌باشد که رشد، فنولوژی، نمو و عملکرد محصولات را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ahmad et al., 2008). در تمامی این مراحل، گیاه برای اینکه بتواند دوره حیاتی مرحله خود را به‌پایان برساند، نیازمند کسب مقدار معینی گرما از محیط است که به‌صورت واحد گرمایی[1] یا درجه روز– رشد[2] بیان می‌شود و این مسأله صرفاً تابع ژنوتیپ است (Peter, 2000). استفاده از واحد حرارتی براساس این ایده استوار است که گیاهان برای رشد و نمو و بلوغ و برآورد عملکرد به‌درجه حرارت معینی نیازمندند. ارتباط مراحل فنولوژیک یک گیاه با تجمع حرارت و عدم ارتباط آن با زمان، اولین بار توسط دیمور در سال ۱۷۳۵ بیان شد (Brown & Bootsma, 1993). تأثیر اقلیم بر نمو گیاه، از طریق تسریع یا کند نمودن مراحل نمو اعمال می‌گردد و کارایی تبدیل گرما و نور به ماده خشک به فاکتورهای ژنتیکی، تاریخ کاشت و نوع محصول بستگی دارد (Rao et al., 2003). بنابراین، دانستن شاخص‌های حرارتی مانند واحد تجمعی حرارتی[3] و همچنین سایر مشتقات آن مانند واحد هلیوترمال[4]، شاخص فتوترمال[5]، واحد حرارتی محصول[6]، کارایی مصرف حرارت[7] و اختلاف نسبی دما[8] می‌تواند اصول پایه‌ای را برای تعیین مراحل فنولوژی و تاریخ کشت مناسب فراهم آورد (Sreenivas et al., 2010). فتوپریود در کنار دما عامل اصلی محیطی برای تعیین فنولوژی، سازگاری و تولید در گیاهان حساس به فتوپریود می‌باشد. بنابراین، فتوپریود و دما می‌توانند در تنظیم نمو گیاه نقش داشته باشند (Oliver & Annandale, 1998). به‌همین جهت استفاده از واحد حرارتی در بیان زمان وقوع مراحل رشد بر واحد زمانی (تعداد روز) که در مکان‌های مختلف و به‌دلیل اختلاف در شرایطی محیطی از دقت کافی برخوردار نیست، برتری دارند (Karimi & Siddique, 1991). اوبرین و

1 Heat unit
2- Growing Degree Days (GDD)
3- Heat Summation Unit (HSU)
4- Helio-Thermal Unit (HTU)
5- Photo-Thermal Index (PTI)
6- Crop Heat Unit (CHU)
7- Heat Use Efficiency (HUE)
8- Relative Temperature Disparity (RTD)

همکاران (O'brien et al., 1998) نیز گزارش کردند که همه مراحل نموی گیاه را می‌توان براساس درجه روز رشد، دقیق‌تر از تقویم زمانی پیش‌بینی کرد.

این تحقیق با هدف کمّی‌سازی تأثیر عوامل مدیریتی مانند انتخاب تاریخ کاشت تابستانه بر واحدهای تجمعی حرارتی، فنولوژی و عملکرد باقلا سبز بر اساس تعداد روز و درجه روز- رشد تجمعی و معرفی رقم سازگار با شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای مناطق حاشیه دریای خزر به‌اجرا درآمد. در واقع، واحد حرارتی گیاه، یک سیستم راهنمایی در جهت کمک کردن به کشاورزان منطقه برای انتخاب مناسب‌ترین تاریخ کاشت تابستانه باقلا رقم لوزودی اوتونو به‌منظور دستیابی به‌میزان رشد رویشی لازم و اجتناب از همزمانی گل‌دهی با گرمای شدید تابستانه و همچنین عدم برخورد مراحل حساس رشدی مانند غلاف‌دهی و رسیدگی با افت درجه حرارت در ابتدای فصل پاییز جهت دستیابی به حداکثر عملکرد غلاف‌سبز جهت تازه‌خوری در فصل پاییز به‌شمار می‌آید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت دو ساله در تابستان سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی قراخیل قائم‌شهر با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و طول ۵۲ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۴ متر از سطح دریا، اجرا گردید. آب و هوای آن معتدل و مرطوب و میزان بارش سالانه حدود۷۵۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط رطوبت نسبی ۷۸ درصد می‌باشد. این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار شامل چهار تاریخ کاشت (۲۰ خرداد، ۱۰ تیر، ۳۰ تیر، ۲۰ مرداد) به‌عنوان فاکتور اصلی و سه فاصله ردیف کشت (۴۵، ۶۰ و ۷۵ سانتی‌متر) به‌عنوان فاکتور فرعی به‌اجرا درآمد. هر کرت آزمایشی در شش خط به‌طول چهار متر و فاصله بین تکرارها دو متر و بین کرت‌ها در هر تکرار نیز یک خط (نکاشت) جهت حذف اثر حاشیه و انجام عملیات داشت و یادداشت-برداری منظور گردید. باقلا مورد نظر رقم زودرس لوزودی اوتونو بوده که بذر آن از شرکت بازرگان کالا با منشأ اسپانیا تهیه گردید. آمار هواشناسی از داده‌های ایستگاه هواشناسی واقع در فاصله ۲۰۰ متری محل انجام آزمایش (ایستگاه هواشناسی قراخیل) دریافت گردید. زمین مورد استفاده در سال قبل از آزمایش، زیر کشت گندم (*Triticum aestivum* L.) بود. عملیات تهیه زمین شامل شخم با گاوآهن، دو دیسک عمود برهم و ماله بود. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام که بر اساس نتایج حاصله بافت خاک، لومی رسی شنی بود و توصیه کودی براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) صورت گرفت. کاشت در تاریخ‌های یاد شده با دست انجام شد. بذور قبل از کاشت با سم کربوکسی تیرام به‌میزان دو در هزار، ضدعفونی شده و در ردیف‌های ایجاد شده در عمق پنج سانتی‌متری روی پشته به‌فواصل ۱۵ سانتی‌متر، در تراکم‌های ۸۸۸۰۰، ۱۱۱۱۱۰ و ۱۴۸۲۱۱ بوته کشت شدند. عملیات داشت شامل آبیاری، تنک و وجین دستی علف‌های هرز در تمامی تیمارهای آزمایشی به‌صورت مطلوب و یکسان انجام شد. در مرحله گیاهچه‌ای از قارچ‌کش ویتاواکس (دو در هزار) به‌منظور مقابله با بوته‌میری و برای مبارزه با آفات برگخوار در مرحله گل‌دهی نیز از حشره‌کش دیازینون (دو لیتر در هزار لیتر آب) استفاده شد. برای تعیین عملکرد، برداشت محصول از چهار خط میانی کاشت با حذف ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت و همچنین جهت بررسی اجزای عملکرد در پایان فصل رشد (غلاف‌دهی)، تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و صفات مربوط به عملکرد محاسبه گردید.

شاخص‌های زراعی اقلیمی با استفاده از معادلات زیر محاسبه شدند:

معادله (۱)
$$GDD = \Sigma n\,[(Tmax + Tmin)/2] - T_b$$

که در آن، GDD: درجه روز رشد، n: تعداد روزهای رشد، Tmax و Tmin: به‌ترتیب حداکثر و حداقل دمای روزانه و T_b: دمای پایه (پنج درجه سانتی‌گراد) می‌باشند.

معادله (۲)
$$HTU = GDD \times DSH^{1}$$

که در آن، HTU: واحد هلیو ترمال برحسب ساعات آفتابی در درجه روز رشد، GDD: درجه روز رشد و DSH: دوره ساعات آفتابی می‌باشند.

معادله (۳)
$$HTUE = Yield / HTU$$

که در آن، HTUE: کارایی مصرف هلیوترمال بر حسب کیلوگرم در هکتار، Yield: عملکرد بر حسب کیلوگرم در هکتار و HTU: واحد هلیو ترمال می‌باشند.

معادله (۴)
$$HUE = Yield / GDD$$

که در آن، HUE: کارایی مصرف حرارت بر حسب کیلوگرم در هکتار در درجه روز رشد، Yield: عملکرد بر حسب کیلوگرم در هکتار و GDD: درجه روز رشد می‌باشند.

معادله (۵)
$$PTI = GDD / GD$$

که در آن، PTI: شاخص فتوترمال برحسب درجه روز رشد در روز، GD: تعداد روز در هر مرحله رشد و GDD: درجه روز رشد

1- Duration of sunshine hours

می‌باشند (Grijesh et al., 2011; Singh et al., 2014; Worthington & Hutchinson, 2005). تحلیل آماری داده‌ها از قبیل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس مرکب صفات آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS Ver 9.1 و رسم نمودارها توسط اکسل انجام و تیمارهای مناسب از طریق آزمون مقایسه میانگین‌ها به‌روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (۳۰-۰ سانتی‌متر) محل اجرای آزمایش

Table 1-Chemical and physical characteristics of soil (0-30 cm) in experimental field

سال زراعی	بافت Texture	نیتروژن N (%)	کربن آلی Organic C (%)	پتاسیم قابل جذب Absorbable K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب Absorbable P ($mg.kg^{-1}$)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH
2017	لومی رسی شنی Silt-clay-loam	0.13	1.59	143	37	0.92	7.78
2018	لومی رسی شنی Silt-clay-loam	0.41	1.83	162	39	0.84	7.69

نتایج و بحث

مرحله کاشت تا سبز شدن

یکی از اساسی‌ترین جنبه‌های مدیریت به‌زراعی درکشت باقلا، مانند هر محصول زراعی دیگر، تعیین تاریخ کاشت به‌ویژه در کشت دوم می باشد و از آنجایی که تاریخ کاشت در هر منطقه آب و هوایی متفاوت است، لذا در روند رشد گیاه وقوع تغییرات را به‌همراه دارد. ارزیابی درجه روز رشد تجمعی مشخص کرد، درجه روز رشد دریافت شده باقلا رقم لوزودی اوتونو در مرحله کاشت تا سبز شدن در سال ۱۳۹۶ (از ۱۵۳ تا ۲۲۴ درجه روز رشد) نسبت به سال ۱۳۹۷ (از ۱۴۵ تا ۲۲۲ درجه روز رشد)، به‌علت دریافت میانگین درجه حرارت کمتر در سال ۱۳۹۶ نسبت به‌سال ۱۳۹۷، طول مدت کاشت تا سبزشدن بیشتری را دارا بود. بیشترین درجه روز رشد دریافت شده به‌ترتیب با ۲۲۴ و۲۲۲ درجه روز رشد در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در تاریخ کاشت چهارم (۲۰ مرداد) اتفاق افتاد. زیرا بالاترین میانگین درجه حرارت سالانه در اواخر مرداد اتفاق افتاد (شکل۱) و کمترین درجه روز رشد در سال ۱۳۹۶ در ۲۰ خرداد با ۱۵۳ درجه روز رشد و در سال ۱۳۹۷ در اول مرداد با ۱۴۵ درجه روز رشد بود (جدول ۲). کمترین مرحله تعداد روز از کاشت تا سبزشدن در تاریخ کاشت ۲۰ خرداد (به‌مدت هشت روز) و بیشترین تعداد روز از کاشت تا سبزشدن در ۲۰ مرداد (به‌مدت ۱۱ روز) به‌دست آمد (جدول ۲). میلر و همکاران (Miller et al., 2000) طی یک مطالعه سه‌ساله (1998-1995) گزارش کردند درجه روز رشد مورد نیاز در مرحله کاشت تا سبزشدن باقلا، ۱۹۸ تا ۲۳۰ درجه روز رشد و در مورد گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) ۱۷۹ تا ۲۴۳ درجه روز رشد در کاشت پاییزه می‌باشد. یساری و همکاران (Yasari et al., 2005) گزارش کردند، میانگین نیاز حرارتی لازم از کاشت تا ۹۰ درصد سبز شدن گیاه گلرنگ معادل ۱۰۴ درجه روز رشد بود که تقریباً تا ۱۰روز پس‌از کاشت حاصل شد. به‌طور کلی، واکنش روز تا سبزشدن باقلا، در تاریخ کشت‌های مختلف، به‌سبب تعداد ساعات آفتابی و میانگین درجه حرارت هوا در ماه‌های یاد شده متفاوت بود (شکل‌های ۱ و ۳).

مرحله کاشت تا گل‌دهی بوته

در ارزیابی پارامترهای هواشناسی در دوره رشد و نمو گیاه، تعداد ساعات آفتابی و میانگین درجه حرارت هوا در مرداد و شهریور سال ۱۳۹۷ دارای بالاترین مقدار نسبت به بقیه ماه‌ها بودند. میانگین درجه حرارت هوا در سال ۱۳۹۷ در ماه مرداد ۲۸/۷ درجه سانتی‌گراد (شکل ۱) و میانگین تعداد ساعات آفتابی ۲۷۸/۸ بود (شکل ۳). متوسط تعداد روز از کاشت تا مراحل گل‌دهی برای باقلا در تاریخ‌های مختلف کشت تابستانه در سال ۱۳۹۶، ۴۱ تا ۵۴ روز و در سال ۱۳۹۷، ۳۸ تا ۴۹ روز بود (جدول ۲). در سال ۱۳۹۶ میانگین درجه روز رشد تجمعی (۹۸۱ تا ۱۲۱۵) و تجمع ساعات آفتابی (۶۴۱۲ تا ۹۵۴۷) بود که نسبت به‌سال ۱۳۹۷ با میانگین درجه روز رشد تجمعی (۱۰۰۰ تا ۱۲۳۸) و تجمع ساعات آفتابی (۹۱۵۷ تا ۱۰۵۳۰) مقدار کمتری بود (جدول ۲). بالاترین میانگین درجه روز رشد تجمعی در مرحله گل‌دهی برای باقلا در سال ۱۳۹۶ در تاریخ کاشت سوم (اول مرداد) با ۱۲۱۵ و کمترین درجه روز رشد تجمعی در تاریخ کاشت دوم (۱۰ تیر) ۹۸۱ بود. درحالی که در سال ۱۳۹۷، تاریخ کاشت ۲۰ مرداد با ۴۹ روز تا گل‌دهی بیشترین درجه روز رشد تجمعی (۱۲۳۸) را به‌دست

آورد و بالاترین تجمع ساعات آفتابی (۱۰۵۳۰) در تاریخ کاشت سوم (اول مرداد) به‌وقوع پیوست (جدول ۲). گل‌دهی حساس‌ترین مرحله رشد و نمو باقلا نسبت به تنش حرارتی بوده، به‌طوری که احتمالاً با کاهش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی باعث کاهش انتقال مواد به دانه و در نهایت، کاهش عملکرد شده و افزایش سقط گل‌ها و دانه‌های تازه تشکیل شده در غلاف نیز عاملی برای کاهش عملکرد می‌باشد. اریکسن و همکاران (Erskine et al., 1988) گزارش کردند، هر گل‌آذین خوشه در ارقام محلی و بومی باقلا بین دو تا ۱۰ جوانه گل تولید می‌کند که تنها بین پنج تا ۱۵ درصد از گل‌ها تبدیل به غلاف می‌گردند. در این تحقیق، مصادف شدن گل‌دهی با گرمای ۳۴/۵ درجه سانتی‌گراد در اواسط تابستان (مرداد) منجر به عملکرد کمتر به‌ترتیب (۶۸۷۰ و ۶۷۹۰ کیلوگرم در هکتار) در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ می‌تواند مؤید این نکته باشد که گرمای زیاد باعث گردید، درصد قابل توجه‌ای ازگل‌ها تبدیل به غلاف نشوند (جدول ۳). اوپلینگر و همکاران (Oplinger et al., 2000) ابراز عقیده نمودند که گرمای زیاد سبب ایجاد اختلالات رشد جنین، ریزش گل‌ها و کاهش تعداد بذر در غلاف در گیاه باقلای می‌شود و رشد و نمو و تشکیل میوه در گیاه منوط به دمای کم و رطوبت بالای محیط است. بنابراین، تاریخ کاشت گیاه باقلا باید طوری در منطقه تعیین شود که گرمای هوا به‌خصوص در دوره گل‌دهی به گیاه آسیب نرساند. که این‌نتایج با یافته‌های وزیری‌راد و همکاران (Vaezirad et al., 2008) نیز مطابقت دارد.

مرحله کاشت تا غلاف‌دهی بوته

تجمع ساعات آفتابی مؤثر در فتوسنتز و دمای روزانه تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاشت تا غلاف‌دهی باقلا در کشت تابستانه دارند. مدت زمان این مرحله معمولاً بین ۵۹ تا ۸۳ روز است (جدول ۲). در پژوهش حاضر (کاشت تابستانه) در مرحله کاشت تا غلاف‌دهی باقلا، میانگین درجه حرارت هوا و تعداد ساعات آفتابی در سال ۱۳۹۷ نسبت به سال ۱۳۹۶ بیشتر بود (شکل‌های ۱ و ۳). بیشترین میانگین نیاز حرارتی تجمعی لازم و تجمع ساعات آفتابی مرحله کاشت تا غلاف‌دهی (به‌ترتیب ۱۶۷۴ و ۱۳۹۳۲) در تاریخ کاشت سوم (اول مرداد) ۱۳۹۷ تقریباً در ۷۲ روز پس از کاشت حاصل شد (جدول ۲). از طرفی، پایین بودن تعداد ساعات آفتابی و میانگین درجه حرارت در سال ۱۳۹۶، سبب طولانی شدن مدت زمان مرحله غلاف‌دهی (۸۳ روز) در تاریخ کاشت چهارم (بیستم مرداد) و کند شدن رشد و نمو باقلا گردید (جدول ۲). شاخص ایده‌آل برای پیش‌بینی نیاز حرارتی گیاهان شاخصی است که تعداد واحدهای حرارتی یک ژنوتیپ مشخص برای رسیدن به‌مرحله مشخصی از رشد (رسیدگی فیزیولوژیکی) را به‌طور ثابت برآورد کند. با توجه به شکل (۱ و ۳) در آخرین تاریخ کاشت تابستانه (۲۰ مرداد) به‌دلیل کم شدن تعداد ساعات آفتابی (شکل ۳) و مواجه شدن رشد و نمو گیاه با فصل خنک و افت محسوس دما ۶/۲ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۳۹۶ و ۸/۱ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۳۹۷(شکل ۱)، عملاً باعث گردید عمل گل‌دهی و زایشی کند و عملکرد گیاه کاهش یابد (جدول ۴). نیلسن و همکاران (Nielsen et al., 2002) اظهار داشتند که درجه روز رشد تجمعی در اکثر موارد واحدهای حرارتی مورد نیاز برای پرشدن دانه را بیش از حد برآورد می‌کند. در این تحقیق، درجه روز رشد تجمعی شاخص مطمئنی برای محاسبه نیاز حرارتی در مرحله رشد رویشی برای باقلا اوتونو در تاریخ‌های مختلف کشت تابستانه به‌شمار می‌آید.

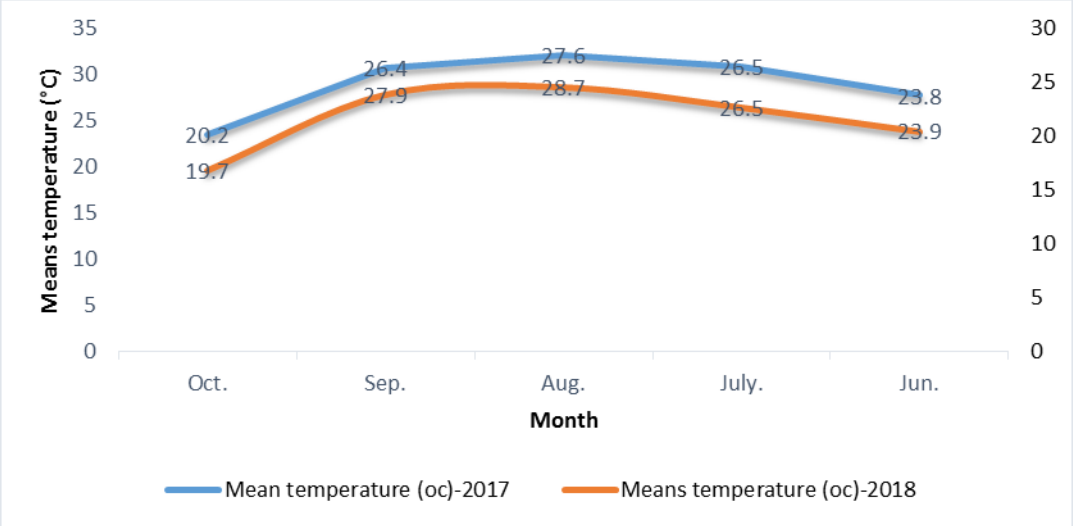
تغییرات کارآیی مصرف هلیوترمال (HTUE) برای باقلا در تاریخ‌های مختلف کشت تابستانه

یکی از شاخص‌های حرارتی مهم دیگر که برای مطالعه فنولوژی گیاهان استفاده می‌شود، کارآیی مصرف هلیوترمال (HTUE) است. با توجه به اینکه این شاخص حاصل ضرب درجه روز رشد و تعداد ساعات آفتابی است، مشابه با درجه روز رشد، واحد هلیوترمال در سال ۱۳۹۶ (از ۰/۴۵ تا ۰/۸۶) نسبت به سال ۱۳۹۷ (از ۰/۴۷ تا ۰/۸۸) کمتر بود.

جدول ۲- تقویم روزانه، درجه روز رشد تجمعی و ساعات آفتابی طی مراحل فنولوژی مختلف باقلا در شرایط کاشت تابستانه در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

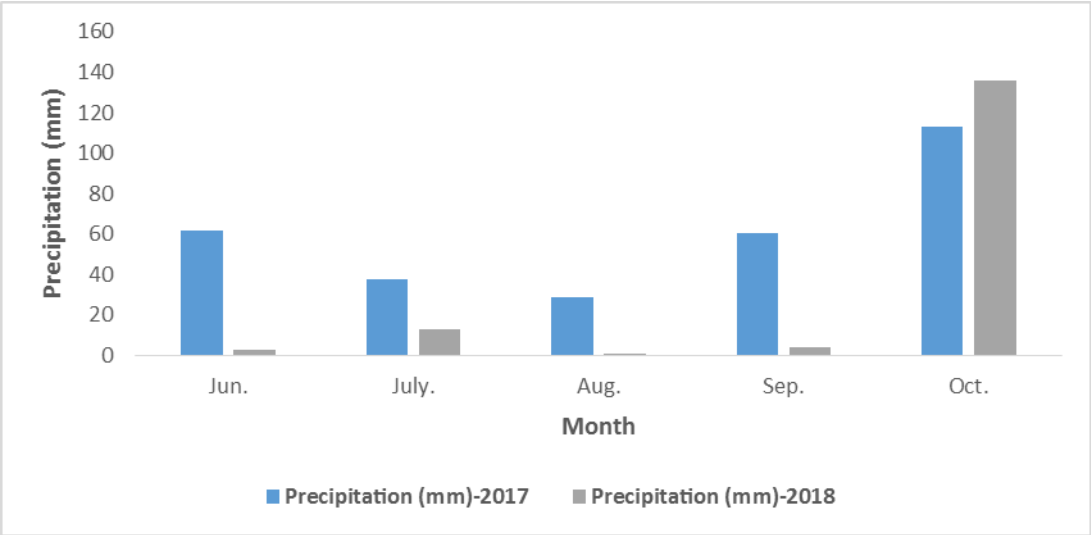
Table 2- Daily calendar, growth degree day of Cumulative (CGDD) and sun shine hours during stages the various phenological of *Vicia faba* L. in conditions summer planting during 2017 and 2018

تاریخ کاشت Planting date	کاشت تا سبز شدن Planting to green			کاشت تا گل‌دهی Planting to flowering			کاشت تا غلاف‌دهی Planting to podding		
	تعداد روز Number of days	درجه روز رشد تجمعی Cumulative growing degree day	ساعات آفتابی تجمعی Cumulative sunshine hours	تعداد روز Number of days	درجه روز رشد تجمعی Cumulative growing degree day	ساعات آفتابی تجمعی Cumulative sunshine hours	تعداد روز Number of days	درجه روز رشد تجمعی Cumulative growing degree day	ساعات آفتابی تجمعی Cumulative sunshine hours
2017									
۲۰ خرداد June 9	8	153	1113	41	986	7553	64	1446.5	10714
۱۰ تیر June 30	9	155	829	45	981	6412	59	1624.4	12064
۱ مرداد July 22	9	189	801	47	1215	9547	61	1639.8	12221
۲۰ مرداد August 10	11	224	2465	54	1181	9246	83	1474.5	11150
2018									
۲۰ خرداد June 9	9	170	1008	38	999.9	7478	65	1540.5	12325
۱۰ تیر June 30	8	166	1374	46	1047	9157	63	1692.5	14523
۱ مرداد July 22	10	145	1002	47	1210	10530	72	1673.3	13931
۲۰ مرداد August 10	9	222	1783	49	1238	9729	81	1508.8	11354



شکل ۱- میانگین درجه حرارت، طی فصل رشد باقلا تابستانه در سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۶

Fig. 1- Mean temperature, during the growth season summer *Vicia faba* L. in years 2017-2018



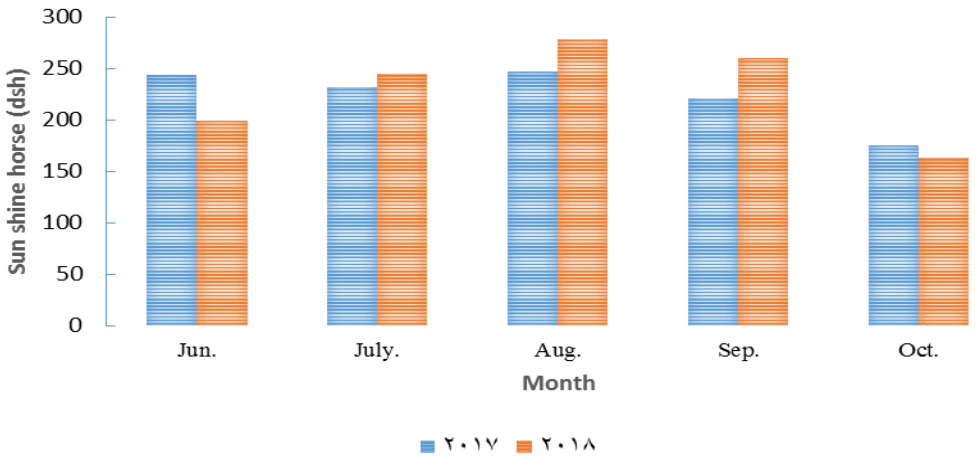
شکل ۲- مقدار بارندگی ماهیانه، طی فصل رشد باقلا تابستانه در سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۶

Fig. 2- The amount of monthly rainfall during the growth season summer *Vicia faba* L. in years 2017-2018

در تاریخ کشت سوم (اول مرداد) ۱۳۹۷، میزان کارآیی مصرف هلیوترمال (۰/۸۸) نسبت به تاریخ کشت ۲۰ خرداد (۰/۴۷۴) افزایش داشت که دلیل این موضوع بیشتر بودن میانگین درجه حرارت هوا و تعداد ساعات آفتابی در ماه یاد شده بود (جدول ۳). درحالی‌که کارآیی مصرف هلیوترمال در تاریخ‌های کشت چهارم (۲۰ مرداد) در دو سال آزمایش ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ روند کاهشی داشت. آمگاین و همکاران (Amgain et al., 2011) نیز روند تصادفی کارآیی مصرف هلیوترمال را در مراحل فنولوژیک ذرت (*Zea mays* L.) در نپال گزارش کرد.

تغییرات کارایی مصرف حرارت (HUE) باقلا در تاریخ‌های مختلف کشت تابستانه

کارایی مصرف حرارت (HUE) برای تمامی مراحل فنولوژیک در تاریخ‌های کشت دوم (۱۰ تیر) و سوم (اول مرداد) در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ نسبت به تاریخ کشت‌های دیگر بیشتر بود.



شکل ۳- تغییرات تعداد ساعات آفتابی باقلا در شرایط کاشت تابستانه در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

Fig. 3- Fluctuations in the number of sunshine hours in *Vicia faba* L., in summer planting conditions during 2017 and 2018

مقدار شاخص کارایی مصرف حرارت برای دوره کشت تا رسیدگی فیزیولوژیک در تاریخ کشت سوم (اول مرداد) درسال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به‌ترتیب (۶/۵۸۶ ۶/۷۶۹) بود (جدول ۳) و بیشترین عملکرد (۱۰۴۲۲ کیلوگرم در هکتار) را به‌دست آورد (جدول ۶). به‌طور کلی، در تمامی مراحل فنولوژیک، کارایی مصرف حرارت در تاریخ کشت‌های دیرتر، کاهش داشت و از نظر بررسی روند منطقی، تغییرات شاخص‌ها دارای روندی ثابت و قابل پیش‌بینی بوده و می‌توان از این شاخص برای تعیین تاریخ بهینه کشت استفاده کرد. آمگاین و همکاران (Amgain et al., 2011) و سینگ و همکاران (Singh et al., 2014) نیز رابطه‌ای بین تاریخ کشت‌های دیرتر از معمول، و کاهش در کارایی مصرف حرارت و کاهش عملکرد دست یافتند، به‌طوری‌که در تاریخ کشت‌های دیرتر با کاهش در کارایی مصرف حرارت میزان عملکرد نیز کاهش یافت.

تغییرات شاخص فتوترمال (PTI) باقلا در تاریخ‌های مختلف کشت تابستانه

تغییرات شاخص فتوترمال (PTI) در جدول ۳ آورده شده است. در سال ۱۳۹۶ با پیشرفت مراحل نموی گیاه، به‌مقدار شاخص فتوترمال افزوده شد، ولی در تاریخ کاشت ۲۰ مرداد با افت محسوس دما در فصل پاییز شاخص فتوترمال کم شد، به‌گونه‌ای که در تاریخ کشت سوم (اول مرداد) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از ۲۰/۹۴ به کمتر از ۱۷/۲۰ در تاریخ کاشت چهارم (۲۰ مرداد) رسید (جدول ۳). ولی در تاریخ کشت ۱۰ تیر سال ۱۳۹۷ به‌دلیل بیشتر بودن میانگین درجه حرارت هوا (شکل ۱) و بالاتر بودن کارایی مصرف ساعات آفتابی (۲۷۸/۸) (شکل ۳)، تغییرات شاخص فتوترمال به عدد ۱۶/۶۰ رسید (جدول ۳). رام و همکاران (Ram et al., 2012) گزارش کردند، ارقام ذرت با طول دوره رشد طولانی میزان شاخص فتوترمال بیشتری در مقایسه با ارقام زودرس‌تر دارند. در این تحقیق، به‌علت بالاتر بودن کارایی مصرف حرارت، کارآیی مصرف هلیوترمال، شاخص فتوترمال، کارایی مصرف ساعات آفتابی در سال ۱۳۹۷ نسبت به سال ۱۳۹۶ عملکرد غلاف سبز مختلف باقلا در شرایط کاشت تابستانه بیشتر بود (جدول ۴).

پارامترهای عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس مرکب، تأثیر تاریخ کاشت، فاصله ردیف کشت و اثرات متقابل آن‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد باقلا در کاشت تابستانه در جدول ۵ آورده شده است. نتایج حاکی از معنی‌دار شدن اثرات سال و تاریخ کاشت و اثرات متقابل آن‌ها در صفات تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، ارتفاع بوته و عملکرد غلاف سبز در سطح احتمال یک درصد بود و اثر فاصله ردیف کشت بر روی تعداد غلاف در بوته و عملکرد غلاف سبز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

جدول ۳- کارایی مصرف حرارت، کارآیی مصرف هلیوترمال، شاخص فتوترمال، کارایی مصرف ساعات آفتابی و عملکرد غلاف سبز باقلا در شرایط کاشت تابستانه طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

Table 3- Heat use efficiency, helio-thermal unit, photo-thermal index, sun shine hours use efficiency and green pod yield in *Vicia faba* L., in summer planting conditions during 2017 and 2018

تاریخ کاشت Planting date	کارایی مصرف حرارت Heat use efficiency	کارایی مصرف هلیو ترمال Helio-thermal unit	شاخص فتوترمال Photo-thermal index	کارایی مصرف ساعات آفتابی Sunshine hours use efficiency	عملکرد غلاف سبز Green pod yield (kg.ha^{-1})
			2017		
۲۰ خرداد June 9	3.311	0.45	13.91	231.6	4790
۱۰ تیر June 30	6.126	0.82	15.49	246.4	9950
۱ مرداد July 22	6.586	0.86	20.94	220.4	10800
۲۰ مرداد August 10	4.659	0.62	17.20	175.7	6870
			2018		
۲۰ خرداد June 9	3.790	0.474	15.5	244.5	5839
۱۰ تیر June 30	5.881	0.685	16.6	278.8	9953
۱ مرداد July 22	6.769	0.883	16.2	260.4	11327
۲۰ مرداد August 10	4.500	0.598	16.1	162.9	6790

جدول ٤- مقایسه کارایی مصرف حرارت، کارآیی مصرف هلیوترمال، شاخص فتوترمال، کارایی مصرف ساعات آفتابی و عملکرد غلاف سبز باقلا در شرایط کاشت تابستانه سال‌های ۱۳۹٦ و ۱۳۹۷

Table 4. Comparisons heat use efficiency, helio-thermal unit, photo -thermal index, sun shine hours use efficiency and green pod yield in *Vicia faba* L., in summer planting conditions during 2017 and 2018

تاریخ کاشت Planting date	کارایی مصرف حرارت Heat use efficiency	کارآیی مصرف هلیو ترمال Helio-thermal unit	کارآیی مصرف Photo-thermal index	کارایی مصرف ساعات آفتابی Sunshine hours use efficiency	عملکرد غلاف سبز Green pod yield (kg.ha^{-1})
2017	4.3035	0.533	16.298	218.525	6884
2018	5.406	0.724	16.884	236.65	8333.1

ارتفاع بوته

ارتفاع گیاه یک صفت ژنتیکی می‌باشد، امّا می‌تواند تحت تأثیر مدیریت‌های خوب مزرعه‌ای و شرایط اقلیمی قرار گیرد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تاریخ کاشت و اثرات متقابل سال و تاریخ کاشت بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد و اثر ردیف‌های کشت روی ارتفاع بوته سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج میانگین‌ها نشان داد، بیشترین ارتفاع بوته در تاریخ کاشت سوم (اول مرداد) با ۸۹/۰۷ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع در تاریخ کاشت اول (۲۰ خرداد) ۷۷/۶۳ سانتی‌متر به‌دست آمد (جدول ۶). دگوی و همکاران (Degwy et al., 2010) نیز نشان دادند که کاهش ارتفاع گیاه و کوتاه شدن فواصل میان گره‌ها به‌علت برخورد با درجه حرارت‌های بسیار بالا در تابستان احتمالاً ناشی از تغییرات دما و طول روز در طی نمو رویشی و زایشی گیاهان است. ارتفاع بوته در سه فاصله ۴۵، ۶۰ و ۷۵ سانتی‌متر به‌ترتیب ۷۶/۶۸، ۸۹/۰۱ و ۹۹/۰۲ سانتی‌متر بود. با افزایش فاصله بین ردیف‌ها، ارتفاع نهایی بوته‌ها روندی افزایشی داشت.

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات عملکرد و اجزاء عملکرد در تیمارهای آزمایشی در گیاه باقلا در شرایط کشت تابستانه طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

Table 5- Analysis of variance of yield and yield components of experimental treatment in *Vicia faba* L. var. Luzde otono in summer planting conditions during 2017 and 2018

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares					
		تعداد دانه در غلاف Number of grain/pod	تعداد غلاف در بوته Number of pod/plant	طول غلاف Pod length	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	ارتفاع بوته Plant height	عملکرد غلاف سبز Green pod yield
سال Year (Y)	1	2.13*	2.80**	6.12**	0.50 ns	815.41**	37768189**
سال × تکرار Y × Replication	4	0.46	1.54	0.89	43.86	11.66	705005.4
فاصله ردیف Row Spacing (RS)	2	0.03 ns	1.01 *	0.67 ns	12.05 ns	3.60 *	239614.6 *
سال × فاصله ردیف Y × RS	2	1.10 ns	0.02 ns	0.98 ns	6.16 ns	2.91 ns	162787.3 ns
خطای اصلی Error a	8	0.58	0.55	0.79	12.65	6.36	97799.9
تاریخ کاشت Planting date	3	2.29**	22.72**	69.22**	131.12**	449.08**	87991087.3**
سال × تاریخ کاشت Y × Planting date	3	0.56 ns	0.89*	0.14 ns	43.87*	50.86**	2213350.9**
فاصله ردیف × تاریخ کاشت RS × Planting date	6	4.05**	1.19**	2.93**	51.18**	15.69 ns	10269224.2**
سال × تاریخ‌کاشت × فاصله‌ردیف Y × Planting date× RS	6	1.77**	0.39 ns	1.29 ns	20.81 ns	22.07*	373514.5 ns
خطای فرعی Error b	36	0.51	0.24	0.69	15.11	10.38	285755.6
ضریب تغییرات CV (%)		13.71	7.82	10.67	12.71	13.91	17.02

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد؛ ns: غیرمعنی‌دار

* and **: Significant at 5 and 1% respectively; ns: no significant

تعداد دانه در غلاف

تعداد دانه در غلاف یکی از اجزای عملکرد در حبوبات می‌باشد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد، تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در غلاف داشت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین تعداد دانه در غلاف در بین تیمارهای آزمایشی نشان داد، باقلا در تاریخ کاشت سوم (اول مرداد) با تعداد ۵/۵۷ دانه در غلاف بالاترین رتبه را به‌دست آورد و کم‌ترین تعداد دانه در غلاف مربوط به تاریخ کاشت دوم (۱۰ تیر) با ۴/۸۱ بود (جدول ۶). از نقطه نظر

فیزیولوژی، باید این نکته را در نظر داشت که شرایط محیطی در تاریخ کاشت سوم (اول مرداد) باعث شد که گیاهان در زمان ورود به فاز زایشی گل‌دهی تا دانه‌بندی به گرما برخورد نکنند، امّا در تاریخ کاشت اول و دوم با تقابل گرما با دوره زایشی باقلا مواجه بودیم که این امر باعث کاهش تعداد دانه در غلاف گردید. افزایش تعداد دانه در غلاف در تاریخ کشت مطلوب و در شرایط آبی می‌تواند ناشی از شرایط مطلوب محیطی از نظر درجه حرارت مناسب طی دوره گرده افشانی و لقاح باشد که موجب افزایش تعداد دانه در غلاف می‌گردد (Ahmadi, 2011). صادقی‌پور وهمکاران (Sadeghipour et al., 2005) گزارش کردند، تعداد دانه در هر غلاف به موقعیت غلاف در گیاه بستگی دارد. غلاف‌های میان‌گره‌های پایین حاوی دانه بیشتری بوده و تعداد دانه در غلاف به‌سمت بالای گیاه کاهش می‌یابد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با محققان دیگر نظیر ایلکائی و امام (Eilkaee & Emam, 2003) هم‌خوانی دارد. تعداد دانه در غلاف، تحت تأثیر فاصله ردیف‌های کشت قرار نگرفت و معنی‌دار نشد (جدول ۶). نتایج مشابهی مبنی بر عدم تأثیر یا تأثیر کم تراکم گیاهی بر تعداد دانه در غلاف توسط مهدال و همکاران (Mohdal et al., 2004) و آگونگ و مکدونالد (Agung & Mcdonald, 1998) برای گیاه باقلا گزارش شده است. ساکسینا (Saxena, 1984) نیز بیان داشت، تغییر در تعداد دانه هر بوته تا حدود زیادی وابسته به تعداد غلاف‌های آن بوته خواهد بود.

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تاریخ کشت و فاصله ردیف کشت و اثرات متقابل آن‌ها بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود (جدول ۵). میانگین تعداد غلاف در بوته در تیمارهای مختلف ردیف‌های کشت بین ۷/۶۱ و ۹/۸۰ متغیر بود و روند کلی تغییرات میانگین تعداد غلاف در بوته در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که با افزایش فاصله بین ردیف‌ها بر تعداد غلاف در بوته افزوده شده است (جدول ۶). به‌طور معمول، در میان اجزای عملکرد دانه در بقولات، تعداد غلاف در بوته، بیشترین تغییرات را در واکنش به تغییرات محیطی و دستکاری‌های مدیریتی از جمله تغییر فضای هر بوته نشان می‌دهد. تاریخ کاشت سوم (اول مرداد) با ۷/۸۵ غلاف دربوته نسبت به تاریخ کاشت‌های اول (۲۰ خرداد) ۵/۶۵ غلاف دربوته و تاریخ کاشت دوم (۱۰ تیر) ۶/۴۰ غلاف دربوته دارای میانگین تعداد غلاف در بوته بیشتری بود (جدول ۶). اومای و همکاران (Omae et al., 2012) اظهار نمودند، افزایش دما در طول نمو زایشی باعث کاهش در تشکیل بذر و غلاف به دنبال افزایش ریزش جوانه گل‌ها و غلاف‌ها می‌شود. با توجه به طول دوره رویش گیاه، گرده‌افشانی و تلقیح بوته‌ها که از حساسیت بالایی نسبت به شرایط محیطی به‌ویژه دما و رطوبت فراهم برخوردار است، در تاریخ کاشت سوم (اول مرداد) که بالاترین تعداد تعداد غلاف در بوته را تولید کرده است با شرایط مساعدتری روبرو بوده است. نتایج حاصل‌از آزمایش هاشمی دزفولی و همکاران (Hashemi-dezfouli et al., 2001) این مطلب را تأیید می‌کند. زیادتر بودن تعداد غلاف در بوته در تاریخ کاشت یاد شده را می‌توان ناشی از طولانی‌تر بودن دوره رشد رویشی و تولید شاخه‌های فرعی در بوته دانست. دگوی و همکاران (Degwy et al., 2010) نتیجه گرفتند که تاریخ کاشت می‌تواند تعداد غلاف در بوته را تحت تأثیر قرار دهد. تاریخ کاشت چهارم (۲۰ مرداد) با ۵/۳۳ تعداد غلاف در بوته را کمترین رتبه به‌دست آورد (جدول ۶). از آنجا که تعداد غلاف در بوته به تعداد کل گره در بوته و نیز ارتفاع بوته وابسته است، پس تأخیر در کاشت سبب کاهش طول دوره رشد، کاهش تعداد شاخه‌های فرعی، کاهش ارتفاع و به دنبال آن کاهش تعداد غلاف در بوته می‌شود (Salehi et al., 2008). احمدی (Ahmadi, 2011) هم اظهار نمود از آنجا که تاریخ کشت نامناسب منجر به برخورد دوران رشد رویشی و زایشی گیاه با شرایط نامساعدی از طول روز و دما می‌گردد، تعداد غلاف در بوته کاهش می‌یابد. رضوانی‌مقدم و ثمرجان (Rezvani Moghaddam &Samarjan, 2009) علت افزایش تعداد غلاف در بوته را تولید مخازن زایشی بیشتر و ناصری و همکاران (Naseri et al., 2015) کاهش تعداد گل‌های عقیم را ذکر کردند.

طول غلاف

طول غلاف که دانه در آن قرار می‌گیرد، نقش مهمی در عملکرد دانه دارد، به‌طوری‌که تعداد غلاف در گیاه با طول غلاف و تعداد دانه در غلاف به طول غلاف بستگی دارد (Panbekar et al., 2015). تجزیه واریانس، بیانگر آن بود که بین تیمارهای آزمایشی تاریخ کاشت و برهم‌کنش دو فاکتور تاریخ‌های کاشت × ردیف‌های کشت در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۵). در مقایسات میانگین طول غلاف، در تاریخ کاشت اول (۲۰ خرداد) با ۱۲/۸۹ سانتی‌متر کمترین طول غلاف را به‌دست آورد که نسبت به آخرین

تاریخ کاشت (۲۰ مرداد) با ۱۳/۳۸ سانتی‌متر، چهار درصد کاهش داشته است و بیشترین طول غلاف مربوط به تیمار تاریخ کشت سوم (اول مرداد) با میانگین ۱۷/۲۲ سانتی‌متر بود. (جدول ۶). کاهش طول غلاف با تأخیر در کاشت، می‌تواند به‌دلیل برخورد مراحل حساس رشدی گیاه مانند غلاف‌دهی و رسیدگی با دمای پایین و شرایط نامساعد رشدی در تاریخ‌های کشت دیرهنگام باشد (شکل ۱). ناروئی-راد و همکاران (Naruirad et al., 2009) اظهار داشتند که صفت تعداد دانه در غلاف و طول غلاف را به‌عنوان عوامل کمکی در انتخاب ژنوتیپ‌ها در نظر می‌گیرند و بیان داشتند که توده‌های انتخابی، دارای تعداد دانه بیشتر در غلاف، از اندازه طول غلاف بیشتری برخوردار بوده و ارقام مختلف از نظر ژنتیکی پتانسیل‌های متفاوتی برای تولید دانه-های درشت یا ریز دارند. رحمانی و همکاران (Rahmani et al., 2012) نیز گزارش کردند، طول غلاف در ارقام لوبیا با تأخیر در کاشت، به‌دلیل کاهش دوره رشد و نیز برخورد مراحل حساس رشدی گیاه مانند غلاف‌بندی و گل‌دهی با درجه حرارت بالا و شرایط نامساعد رشدی، کاهش یافته است.

وزن ۱۰۰ دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که صفت وزن ۱۰۰ دانه در تیمار تاریخ‌های کاشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و این صفت تحت تأثیر فاصله ردیف‌های کشت معنی‌دار نشد (جدول ۵). به‌طور عمده وزن ۱۰۰ دانه متأثر از اندازه مخزن و قدرت مخزن می-باشد، امّا ژنوتیپ و شرایط آب و هوایی طی دوره رشد و نمو گیاه نیز بر آن مؤثرند (Khadem Hamza et al., 2005). در مقایسات میانگین مرکب، وزن ۱۰۰ دانه، در تاریخ کاشت دوم (۱۰ تیر) با ۱۴۵/۸۳ گرم بیشترین و در تاریخ کاشت اول (۲۰ خرداد) با ۱۳۶/۶۶ گرم کمترین رتبه را به‌دست آورد (جدول ۶). در تاریخ کاشت دوم (۱۰ تیر) دمای هوا برای رشد گیاه مطلوب بوده و بوته‌ها بیشترین استفاده را از منابع موجود نموده و بنابر این، دانه‌های درشت‌تری نیز تولید کرده‌اند. فرجی (Faraji, 2006) اظهار می‌دارد که سرعت رشد دانه و پر شدن غلاف را می‌توان به دریافت تابش خورشیدی در طی دوره رشد دانه نسبت داد و نتیجه گرفت که اندازه نهایی دانه با تعداد دانه در بوته و تنش آبی و گرمایی در طی پر شدن دانه رابطه منفی دارد. بنابراین، در شرایط نامساعد محیطی پتانسیل تولید دانه در غلاف به‌ظهور نخواهد رسید. تورک و همکاران (Turk et al., 2002) نیز براساس نتایج سه ساله آزمایش اثر تاریخ کاشت بر ارقام دانه‌ریز باقلا، گزارش کردند که بیشترین وزن ۱۰۰ دانه از تاریخ کاشت زودتر با میانگین ۴۰/۸ گرم به‌دست آمد و در صورت تأخیر چهار هفته‌ای، وزن ۱۰۰ دانه به ۳۴ گرم کاهش یافت. وزن ۱۰۰ دانه، آخرین جزء عملکرد است که در طی رشد شکل می‌گیرد و وزن آن به آرایش گل‌ها و موقعیت رشدی غلاف بستگی دارد (Hashemabadi & Sedaghathour, 2006).

عملکرد غلاف سبز

عملکرد دانه نتیجه فعالیت یک جامعه گیاهی در طول فصل رشد و نمو، استفاده از تشعشع و سایر منابع محیطی بیان شده است (Cheema et al., 2001). تاریخ کاشت، اولین نقطه محوری در تصمیمات مدیریت تولید گیاهان زراعی به‌ویژه در مناطقی که دارای محدودیت‌های محیطی همچون گرمای شدید در اواسط تابستان هستند، می‌باشند (Harris et al., 2001). نتایج تجزیه واریانس دو ساله نشان داد که عملکرد غلاف‌سبز باقلا تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی ردیف و تاریخ کاشت تابستانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۵). اوکپارا و همکاران (Okpara et al., 1999) بیان نمودند که عملکرد در باقلا تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار دارد و کاشت به‌موقع سبب می‌شود که زمان گل‌دهی با دمای مناسب برخورد کرده و در نتیجه، غلاف و دانه بیشتری تشکیل شود. مقایسه میانگین‌های مرکب دو ساله تاریخ‌های کاشت تابستانه باقلا نشان داد، در کاشت تابستانه اول مرداد (سومین تاریخ کاشت) به‌واسطه درجه روز رشد تجمعی (جدول ۲) و تجمع ساعات آفتابی بالاتر (شکل ۳) نسبت به بقیه تاریخ‌های کاشت (۲۰ خرداد،۱۰ تیر و ۲۰ مرداد) توانست میزان ماده خشک کل بیشتری به‌دست آورد (جدول ۶). در میانگین عملکرد غلاف‌سبز باقلا در تاریخ کاشت سوم یعنی اول مرداد با ۱۰۴۲۲ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین عملکرد بوده که نسبت به آخرین تاریخ کاشت (۲۰ مرداد) ۸۴ درصد افزایش عملکرد داشته است. عملکرد غلاف‌سبز بیشتر در تاریخ کاشت یاد شده ناشی از امکان رشد بهتر گیاه، استفاده بهینه از عوامل محیطی و مواجه نشدن دوره گل‌دهی و گرده افشانی با شرایط نامساعد محیطی می‌باشد (جدول ۱) که این با نتایج کیانبخت و همکاران (Kianbakht et al., 2014) مطابقت دارد. تاریخ‌های کاشت اول و دوم از عملکرد کمتری برخوردار بوده است (به‌ترتیب با ۶۰۵۹ و ۸۳۱۱ کیلوگرم در هکتار) که

احتمالاً به‌دلیل برخورد انتهای دوره زایشی با گرمای اواسط تابستان می‌باشد (شکل ۱ و ۳). همچنین استقرار ضعیف گیاهچه و کوتاه‌تر شدن طول دوران سبز شدن تا رسیدگی، نکاتی است که در آزمایشات کایزر و هانان (Kaiser & Hannan, 1985) به آن اشاره شده است و همین عامل می‌تواند منجر به کاهش عملکرد گیاه شوند. اثر فواصل بین ردیف‌های کشت بر عملکرد غلاف‌سبز معنی‌دار گردید (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که فاصله بین ردیف‌های کشت ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متر با میانگین عملکرد ۷۵۳۸ و ۱۰۷۲۳ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). دهمرده و همکاران (Dahmardeh et al., 2010) اظهار نمودند، با افزایش تراکم بوته عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک افزایش یافت. کمترین عملکرد غلاف‌سبز (۵۶۴۴ کیلوگرم در هکتار) مربوط به آخرین تاریخ کاشت (۲۰ مرداد) بود که به‌علت افت درجه حرارت در مرحله زایشی و شروع سرما در پاییز منجر به کاهش عملکرد گردید (جدول ۶).

جدول ٦- مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی بر صفات مورد ارزیابی گیاه باقلا، در شرایط کشت تابستانه طی سال‌های ۱۳۹٦ و ۱۳۹۷

Table 6- Mean comparisons of experimental treatment on evaluated traits of *Vicia faba* L. in summer planting conditions during 2017 and 2018

تیمار Treatment	تعداد دانه در غلاف Number of grains.pod^{-1}	تعداد غلاف در بوته Number of pod.plant^{-1}	طول غلاف Pod length (cm)	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight (g)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	عملکرد غلاف سبز Green pod yield (kg.ha^{-1})
ردیف‌های کشت Row Spacing (cm)						
45	4.80 a*	7.61 c	14.53 a	142.33 a	76.68 c	7537.8 b
60	5.22 a	9.80 a	14.85 a	143.33 a	99.02 a	10722.9 a
75	5.07 a	8.32 b	13.60 a	138.66 a	89.01 b	8565.8 b
تاریخ‌های کاشت Planting date						
۲۰ خرداد June 9	5.48 ab	5.65 c	12.89 c	136.66 c	77.63 c	6059.8 c
۱۰ تیر June 30	4.81 c	6.40 b	15.15 b	145.83 a	79.64 c	8310.9 b
۱ مرداد July 22	5.57 a	7.85 a	17.22 a	144.94 a	89.07 a	10421.1 a
۲۰ مرداد August 10	5.08 bc	5.33 c	13.38 c	141.11 b	82.61 b	5643.6 d

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمالی پنج درصد ندارند.

* Means by the uncommon letter in each column are significantly ($p \leq 0.05$) different.

نتیجه‌گیری

آگاهی از زمان وقوع و طول دوره مراحل نمو آن و رابطه هر یک از آن‌ها با عملکرد این امکان را فراهم می‌سازد که مراحل نمو حساس در عملکرد مورد شناسایی قرارگیرد. این امر در نهایت، سبب افزایش عملکرد محصول خواهد شد. گزارش‌های مختلفی برای متوسط تعداد روز و میانگین درجه روز – رشد تجمعی در مراحل مختلف نمو، بسته به نوع گیاه، ژنوتیپ، تاریخ کاشت و غیره، وجود دارد. نتایج این پژوهش مشخص کرد که در کاشت تابستانه به‌دلیل بالاتر بودن درجه روز رشد تجمعی و تجمع ساعات آفتابی در سال ۱۳۹۷ نسبت به سال ۱۳۹۶ در مراحل نموی (از کاشت تا سبز شدن، گل‌دهی و غلاف‌دهی)، عملکرد، کارایی مصرف حرارت و کارایی مصرف واحد هلیوترمال بالاتری به‌دست آمد. همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در دو سال آزمایش انجام شده (۱۳۹۷– ۱۳۹۶) باقلا در تاریخ‌های کاشت سوم (اول مرداد) و فاصله ردیف‌های کشت ۶۰ سانتی‌متر به‌ترتیب با ۱۰۴۲۲ و ۱۰۷۲۳ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد غلاف‌سبز را تولید کرد. کمترین عملکرد غلاف‌سبز در تاریخ کاشت چهارم (۲۰ مرداد) و در فاصله ردیف کشت ۴۵ سانتی‌متر به‌ترتیب با ۵۶۴۴ و ۷۵۳۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. با توجه به نتایج، رقم اصلاح شده لوزو دی اوتونو علاوه‌بر صفات ژنتیکی

مطلوبی کـه دارد، با حداکثر استفاده از شرایط محیطی و جذب تـابش خورشـیدی در یک بازه زمانی وسیع‌تر، مواد پرورده بیشتری سـاخته و ایـن مواد در نهایت، به دانه‌ها اختصـاص یافتــه اســت. همچنــین، شــاخص‌هــای HUE، HTUE و RUE نیـاز حرارتـی بـاقلا را در تاریخ‌هـای کاشت مختلــف و در مراحـل متفـاوت نمـوی بـه‌خــوبی بـرآورد کرده و در این مسیر به‌دلیل دارا بـودن رونـد ثابـت و منطقـی برتری نسبی بر سایر شاخص‌هـا ماننـد GDD و PTI داشتند.

References

1. Ahmad, T., Hafeez, F.Y., Mahmood, T., & Malik, K.A. (2008). Residual effect of nitrogen fixed by mungbean (*Vigna radiata* L.) and blackgram (*Vigna mungo* L.) on subsequent rice (*Oryza sativa* L.) and wheat (*Triticum astivum* L.) crops. *Australian Journal Experimental Agricultural, 41*, 245–248. http://dx.doi.org/10.1071/EA99175
2. Ahmadi, G. (2011). Determination of the best planting date, seed rate and row spacing of faba been (*var*. Barekat) as second crop in Guilan. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture, University of Guilan, Iran. (In Persian with English Summary)
3. Agung, S., & McDonald, G.K. (1998). Effects of seed size and maturity on the growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *Australian Journal Agricultural Research, 49*, 79-88. https://doi.org/10.1071/A97030
4. Amgain, L.P. (2011). Accumulated heat unit and phenology of diverse maize varieties as affected by planting dates under Rampur condition, Nepal. *Agronomy Journal of Nepal, 2*, 111-120.
5. Brown, D.M., & Bootsma, A. (1993). Crop heat units for corn and other warm-season crops in Ontario. Ontario Ministry of Agriculture and Food Factsheet Agdex 111/31.ISSNNo. 0225-7882. Ontario Ministry of Agriculture and Food, Queen's Park, Toronto, ON, Canada.
6. Cheema, M.A., Malik, A., Hussain, S., Shah, R., & Basra, S. (2001). Effects of time and rate of nitrogen and phosphorous application on the growth and the seed and oil yields of canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science, 186*, 103-110. http://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2001.00463.x
7. Dahmardeh, M., Ramroodi, M., & Valizadeh, J. (2010). Effect of plant density and cultivars on growth, yield and yield components of faba bean. *African Journal of Biotechnology, 9(50)*, 8643-8647. http://doi.org/10.5897/AJB10.1355
8. Degwy, I.S., Glelah, A.A., El-Galaly, A., & Marwa, K. (2010). Performance of some faba bean cultivars as influenced by sowing date and broomrape control. *Journal of Agricultural Research, 36*, 292-313.
9. Eilkaee, M.N., & Emam, Y. (2003). Effect of plant density on yield and yield components in two winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Science, 34(3)*, 509-515. (In Persian with English Summary)
10. Erskine, W.A., Nassib, M., & Telaye, A. (1988). Breeding for morphological traits. In: R.J. Summerfield (Ed), World Crops: Cool Season Food Legumes, Kluwer Academic Publishers, pp. 117-127.
11. Faraji, A. (2006). Effect of planting date and yield and seed yield components of four canola genotypes in Gonbad. *Journal Seed and Plant Production, 7(3)*, 189-201. (In Persian with English Summary)
12. Grijesh, G., Kumara, K., Swamy, A.S., Sridhara, S., Dinish Kumar, M., Vageesh, T.S., & Nataraju, S.P. (2011). Heat use efficiency and helio thermal units of maize (*Zea mays* L.) genotypes as influenced by date of sowing under Southern transitional zone of Karanatak state. *International Journal of Science and Nature, 2(3)*, 529-533.
13. Harris, D., Pathan, A.K., Gothkar, P., Joshi, A., Chivasa, W., & Nyamudeze, P. (2001). On-farm seed priming: using participatory methods to revive and refine a key technology. *Agricultural Systems, 69*, 151-164. https://doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00023-3
14. Hashemabadi, D., & Sedaghathour, S. (2006). Study of mutual effect of the sowing date and plant density on yield and yield component of winter faba bean. *Journal of Agricultural Sciences, 12(1)*, 135-142. (In Persian with English Summary)
15. Hashemi-dezfouli, S., Alami-saeed, K.h., Siadat, S.A., & Komeili, M.R. (2001). Effect of planting date on potential of yield of two sweet corn hybrids in environmental condition of Khozestan. *Journal of Agriculture Science and Natural Resources, 32*, 681-689. (In Persian with English Summary)
16. Isaac, L., Wood, C.W., & Shannon, D.A. (2008). Decomposition and nitrogen release of prunings from

hedgerow species assessed for alley cropping in Haiti. *Agronomy Journal*, *92*, 501-511. 10.2134/agronj2000.923501x

17. Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Bootee, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman A.J., & Ritchie, J.T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, *18*, 235-265.
18. Kaiser, W.J., & Hannan, R.M. (1985). Effects of planting date and fungicide treatment on emergence and yield of kabuli and desi chickpea in eastern Washington State. *International Chickpea News Letter*, *12*, 16-19.
19. Karimi, M.M., & Siddique, K.H.M. (1991). Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivers. *Australian Journal Agricultural Research*, *42*, 13-20. https://doi.org/10.1071/AR9910013
20. Khajepour, M.R. (1993). Principles and basics of Agronomy. Isfahan University of Technology. Jihad-e-Daneshgahi. Press of Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, 386 pp. (In Persian)
21. Khadem Hamza, H., Karimi R.M., Rezai, A., & Ahmadi, M. (2005). Effect of plant density and sowing date on agronomic traits, yield and yield components of soybean (*Glycine max* L.). *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, *35*(3), 357-367. (In Persian with English Summary)
22. Khalil, S.K., Wahab, A., Rehman, A., & Amin, R. (2010). Density and planting date influences on phenological development, assimilate partitioning and dry matter production of faba bean. *Pakistan Journal Botany*, *42(6)*, 3831-3838. http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/42(6)
23. Khanjani, M., Mahmoodi, S., & Hmial-Ahmadi, M. (2010). The effect of density and relative timing of datura (*Datura stramonium* L.) weed emergence. *Journal of Crop Physiology*. Islamic Azad University of Ahvaz, 7, 13-27. (In Persian with English Summary)
24. Kharrat harrat, M., & Ouchari, H. (2011). Faba bean (*Vicia faba* L.) status and prospects in Tunisia. Grain Legumes, *56*, 11-13.
25. Kianbakht, M., Zinali, A., Siahmargui, A., Sheikh, F., & Pouri, M. (2014). Determination of the best planting date for three bean (*Phasaeolus vulgaris* L.) cultivars in Gorgan. First International Congress of Seeds and 13th Congress of Agronomy and Plant Breeding, Karaj, Iran, pp. 54-64. (In Persian with English Summary)
26. Kopke, U., & Nemecek, T. (2010). Ecological services of faba bean. *Field Crops Research*, *115*, 217–233. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.10.012
27. Luce, S.M., Grant, C.A., Zebarth, B.J., Ziadi, N., O'Donovan, J.T., Blackshaw, R.E., Harker, K.N., Johnson, E.N., Gan, Y., Lafond, G.P., May, W.E., Khakbazan, M., & Smith, E.G. (2015). Legumes can reduce economic optimum nitrogen rates and increase yields in a wheat–canola cropping sequence in western Canada. *Field Crops Research*, *179*, 12–25. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.04.003.
28. Martini, M.Y., McKenzie, B.A., Moot, D.J., & Hill, G.D. (2012). Dry matter accumulation of faba bean sown at different sowing date in Canterbury. *Agronomy New Zealand 42*, 43-51.
29. Miller, H.E., Rigelhof, F., Marquart, L., Prakash, A., & Kanter, M. (2000). Whole-grain products and antioxidants. *Cereal Foods World*, *45*, 59–63.
30. Mohdal, A.R., Munira, T., & Tahawa, M. (2004). Effect of seed size and plant population density on yield and yield components of local faba bean (*Vicia faba* L. Major). *Journal Agriculture Biotecnology*, *6*, 294-29. https://doi.org/10.21608/ejar.2011.177626
31. Naruirad, M.R., Agaie, M.J., Fanaei, H.R., & Qasemi, M. (2009). Genetic variation of some morphological and phenological traits of lentil masses in hot and dry regions. *Research and Construction in Agriculture and Horticulture*, *87*, 173-186. (In Persian with English Summary)
32. Naseri, R., Rahimi, M.J., Siyadat, S.A., & Mirzaei, A. (2011). The effects of supplementary irrigation and different plant densities on morphological traits, yield and its components and protein content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Sirvan region in Ilam province. *Iranian Journal of Pulses Research*, *6*(1), 78-91. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/ijpr.v1394i1.24281
33. Nielsen, R.L., Thomison, P.R., Brown, G.A., Halter, A.L., Wells, J., & Wuethrich, K.L. (2002). Delayed planting effects on flowering and grain maturation of dent corn. *Agronomy Journal*, *94*, 549-558. https://doi.org/10.2134/agronj2002.5490
34. O'brien, P., JAllen, E.J., & Firman, D.M. (1998). A review of some studies into tuber initiation in potato (*Solanum tuberosum* L.) crops. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, *130*, 251-270. https://doi.org/10.17/S0021859698005280

35. Okpara, D.A. (1999). Response of African yambean to sowing date and plant density. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment, 1*(2), 191-197.
36. Oliver, C.R., & Annandale, J.G. (1998). Thermal time requirements for the development of green pea (*Pisum Sativum* L.). *Field Crop Research, 56*, 301-307. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00097-X
37. Omae, H., Kumar, A., & Shono, M. (2012). Adaptation to high temperature and water deficit in the common bean during the reproductive period. *Journal of Botany*, 1-7. https://doi.org/10.1155/2012/803413
38. Oplinger, E.S., Putnam, D.H., Doll, J.D., & Combs, S.M. (2000). Faba bean, Alternative field crops manual, http://W.W.W.hort.Purdue.edu /newcrop/afcm/fababean.html.
39. Panbekar, N.A., Dastan, S., Yadi, R., & Shahidifar, A. (2015). Effect of nitrogen splitting and planting row space on yield and yield components in faba bean (*Vicia faba* L.) Barkat cultivar. *Journal of Crop Production Research, 6*(4), 341-355. (In Persian with English Summary)
40. Peter, G. (2000). Climate and Crops Activity, Translation, Kafi, M., Ganjali, A., Nezami, A., Shareyatmadar, F. Prees Jahad University of Mashad, Iran. pp. 311.
41. Rahmani, T., Heidari Sharif Abad, H., & Madani, H. (2012). The study of effect planting date on yield of red bean cultivars in Aligudarz region. *New Finding Agriculture*, (4), 321-335. (In Persian with English Summary)
42. Ram, H., Singh, G., Mavi, G., & Sohu, B. (2012). Accumulated heat unit requirement and yield of irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties under different crop growing environment in central Punjab. *Journal of Agrometeorology, 14*, 147-153. https://doi.org/10.54386/jam.v14i2.1414
43. Rao, V.U.M., Singh, D., & Singh, R. (2003). Heat use efficiency of winter crop in Haryana. *Journal of AgroMeteorology, 1*(2), 143-148. https://doi.org/10.54386/jam.v1i2.343
44. RezvaniMoghaddam, P., & Samarjan, R. (2009). Effect of different planting dates and different irrigation regimes on morphological characteristics and yield of chickpea varieties ILC3279 in Neyshabur weather conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences, 2*, 315-325. (In Persian with English Summary)
45. Sadeghipour, A., Ghafari Khaliq, H., & Monem, R. (2005). Effect of plant density on yield and yield components of limited and unlimited growth cultivars in red beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural Sciences, 11*(1), 149-156. (In Persian with English Summary)
46. Salehi, M., Akbari, R., & Khorshidi benam, M.B. (2008). Investigation of yield response and seed yield components of red bean cultivars. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 43*(1), 105-115. (In Persian with English Summary)
47. Sarparast, R., & Norozi, S. (2016). Histal, with high yield and suitable planting cultivar in temperate zones and Mediterranean Northern of Iran. The first International Conference on "Healthy Agriculture, Nutrition and Community (ICANC 2015). Tehran, Iran. pp**.** 215-225. (In Persian with English Summary)
48. Saxena, N.P. (1984). *Physiology of Tropical Field Crop. Chickpea*. pp. 419–452. In: P.R. Goldsworthy and N.M. Fisher (Eds). John Wiley and Sons, New York.
49. Seghatoleslami, M.J., & Ahmadi Bonakdar, K. (2010). The effect of sowing date and plant density on yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenumgracum* L.) *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 26*(2), 265-274. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6958
50. Shah, Z., Shah, S.H., Peoples, M.B., Schwenke, G.D., & Hrridge, D.F. (2003). Crop residue and fertilizer N effects on nitrogen fixation and yields of legume-cereal rotations and soil organic fertility. *Field Crops Research, 83*, 1–1137. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00005-4
51. Singh, M.P., Lallu, K.R., & Sign, N.B. (2014). Thermal requirement of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) at different phonological stages under late sown condition. *Indian Journal of Plant Physiology, 19*(3), 238-243. https://doi.org/10.1007/s40502-014-0072-0
52. Sreenivas, G., Devender Reddy, M., & Raji Reddy, D. (2010). Agro-meteorological indices in relation to phenology of aerobic rice (*Oryza Sativa* L.). *Journal of Agrometeorology, 12*(2), 241-24. https://doi.org/10.1007/s40502-014-0072-0
53. Turk, M.A., & Tawaha, A.M. (2002). Impact of seeding rate, seeding date, rate and method of phosphorus application in faba bean (*Vicia faba* L. minor) in the absence of moisture stress. *Journal of Biotechnology, Agronomy, Society and Environment, 6*(3), 171-178.
54. Vaezirad, S., Shekari, F., Shirani Rad, A.H., & Zangani, A. (2008). Effect of water deficit stress at different growth stages on yield and yield components of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.). cultivars. *Modern Agricultural*

Knowledge, *4*(10), 86-94. (In Persian with English Summary)

55. Worthington, C.M., & Hutchinson, C.M. (2005). Accumulated growing degree days as a model to determine key developmental stages and evaluate yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) in Northeast Florida. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, *118*, 98-101.
56. Yasari, T., Shahsavari, M.R., Barzegar, A.B., & Omidi, A.H. (2005). Study of developmental stages and their relationship with seed yield of advanced sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotype. *Research and Construction in Agriculture and Horticulture*, *68*, 75-83. (In Persian with English Summary)

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

Research Article
Vol. 15, No. 3, Fall 2023, p. 585-605

Study of Effective Factors for the Protection of Rice(Oryza sativa) Crop Diversity to Provide Security, Food, and Sustainable Households in Bandar Anzali, Guilan Province

Somayeh Shirazi[1] and Kouros Khoshbakht[2]*

Received: 11-03-2022
Revised: 02-07-2022
Accepted: 19-07-2022
Available Online: 19-07-2022

How to cite this article:
Khoshbakht, K., and Shirazi, S. (2023). Study of effective factors for the protection of rice(Oryza sativa) crop diversity to provide security, food, and sustainable households in Bandar Anzali, Guilan province. *Journal of Agroecology, 15(3), 585-605.*
DOI: 10.22067/agry.2022.75773.1102

Introduction

By 2050, the world's population is estimated to increase by 30 to 35 percent, so about 60 percent growth in agricultural production must be achieved for proper nutrition. Food security refers to a situation in which people at all times, physically, socially, and economically, have access to adequate, safe, and nutritious food that meets their nutritional needs and preferences for an active and healthy life. One of the most important challenges of the 21st century to improve food security is the preservation of agricultural biodiversity. Biodiversity is a key factor in ensuring that adequate food is available at any given scale and is often assessed in terms of genetic composition and local stability. Conventional single-crop farming systems depend on a small number of high-yield crops, and their expansion, in addition to environmental problems, led to significant reductions in plant biodiversity. There are different approaches to addressing food security and biodiversity protection concerns. This study aimed to investigate food security and effective factors in protecting agricultural biodiversity to ensure sustainable food security.

Materials and Methods

This research has been performed in Anzali port. The present study is applied in terms of purpose and descriptive-analytical method. This study was conducted in two stages: 1. Food security status: information required for research through library and documentary studies (detailed results of the country's census and village identity) and part of it through field studies (observation, interview, and questionnaire). In this regard, a questionnaire related to food security indicators such as food adequacy, health, nutrition, and availability to have an active and healthy life was used in the first stage. Randomly selected ,a total of 90 households in the city were interviewed. 2. Study of the role of agriculture. Biodiversity Conservation Indicators in Ensuring Sustainable Food Security: 100 farm managers were surveyed in 10 villages, and the questions were divided into five groups: economic, social, educational, infrastructure, and organizational. Finally, SPSS software and Pearson correlation were used to plot the chart and statistical analysis.

Results and Discussion

The city has food adequacy, access to food, and healthy activity, which is about 8 hours a day, but it is poor in terms of healthy living away from disease, nutrition, and having a healthy food free of chemical inputs. Improving

1- Ph.D. Student in Agroecology, Research Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University of Tehran, Iran.
2-Associate Professor, Faculty of Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University of Tehran, Iran.
(*- Corresponding author's Email: kkhoshbakht@sbu.ac.ir)

food security is especially important for developing countries where social, political, cultural, and economic developments can improve food security. The government should adopt policies such as global cash food subsidies to improve food security, direct support for low-income households, and allocate subsidies based on the geographical location of these households. Our results show that even in a city, the relationship between socioeconomic factors and caloric intake can vary from region to region. Thus, if governments choose specific policies (for example, education policies), they should target provinces where food security is negatively correlated with calorie intake. Simple income-raising policies are not always effective in improving calorie intake in rural areas. Relevant and private government institutions should focus on other socio-economic factors and prioritize them in improving calorie intake in the family and improving health outcomes. In all villages except the exempt village, infrastructure factors have the greatest impact on maintaining biodiversity, and economic factors have the greatest impact in the exempt village. The highest standard deviation is seen in the infrastructure factors related to Torbegodeh, Talebabad, ShilehSar, Khomeyran, Ashpala, Abkenar, and Kapurchal villages. The most standard deviation in other villages is related to economic factors. In Torbegodeh and Rudpasht villages, the importance of educational factors; Talebabad, Shileh Sar, and Kapurchal villages, the importance of social factors; Khomeyran, Maaf, and Ashpala villages, the importance of infrastructure factors; and Abkenar village, environmental factors are more.

Conclusion

In general, in this region, rice fields with high inputs of resources and low crop diversity and environmental impacts can lead to environmental feedback in different areas, for example, reducing biodiversity and soil fertility, which is more dependent on the base. Fossil fuel inputs for robust production stability. To this end, focusing on ofproducing agricultural products for domestic consumption to increase food security by supporting rural livelihoods and producing environmentally sustainable food should be a priority.

Keywords: Agrobiodiversity, Chemical Inputs, Ecology, Food Health, Rice mono-crop

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۶۰۵-۵۸۵

مطالعه عوامل مؤثر بر حفاظت از تنوع زراعی برنج (Oryza sativa) در جهت تأمین امنیت غذایی پایدار خانوارهای بندر انزلی، استان گیلان

سمیه شیرازی[۱] و کوروس خوشبخت[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۸

چکیده

با افزایش جمعیت، ضرورت تأمین امنیت غذایی، امری آشکار است. بدین منظور تک کشتی گونه‌های اصلی تأمین‌کننده غذا، مانند برنج (Oryza sativa) درراس اهداف کشاورزان قرار گرفته است. ضرورت حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی به‌منظور تأمین امنیت غذایی پایدار ضروری است. مطالعه‌ای در شمال ایران که کشاورزان در آنجا اغلب تک کشتی برنج دارند، در دو مرحله با استفاده از پرسشنامه انجام شده است. مرحله اول؛ ۹۰ خانوار به‌صورت تصادفی انتخاب شد و در مورد مولفه‌های امنیت غذایی، کفایت، سلامت، مانند کفایت غذایی، سلامت، مغذی بودن، دسترسی، زندگی سالم و فعالیت‌های مناسب مصاحبه گردید. مرحله بعد، عوامل مؤثر در حفاظت از تنوع زراعی، در پنج گروه اقتصادی، اجتماعی، آموزشی، زیرساختی و سازمانی قرار گرفت. در نهایت، از نرم‌افزار SPSS برای تحلیل آماری و از ضریب همبستگی پیرسون به‌منظور تعیین میزان و جهت رابطه بین متغیرها استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که ۴۳/۲۲ درصد افراد دارای امنیت غذایی و بقیه افراد در ناامنی غذایی به سر می‌برند که ناامنی غذایی به سه دسته گرسنگی متوسط با ۱۱/۵۶ درصد، گرسنگی کم با ۲۶/۵ درصد و گرسنگی شدید با ۱۸/۶۶ درصد تقسیم می‌شود که به‌ترتیب دارای کفایت غذایی، دسترسی به مواد غذایی، فعالیت سالم است، امّا از لحاظ زندگی سالم به دور از بیماری، مغذی بودن و سلامت غذایی ضعیف می‌باشد. عوامل آموزشی و زیرساختی بیشترین تأثیر را در حفاظت از تنوع زراعی توسط کشاورزان دارد که عدم آگاهی اثر منفی و بهبود زیر ساخت اثر مثبت دارد.

واژه‌های کلیدی: اکولوژی، تک‌کشتی برنج، تنوع زیستی کشاورزی، سلامت غذایی، نهاده‌های شیمیایی

مقدمه

برآورد شده است که تا سال ۲۰۵۰، جمعیت جهان ۳۰ تا ۳۵ درصد افزایش می‌یابد، بنابراین می‌بایست برای تأمین غذایی مناسب رشد حدوداً ۶۰ درصدی در تولیدات کشاورزی محقق شود (Chris Vogliano, 2021). امنیت غذایی به وضعیتی اشاره دارد که مردم در هر زمان، از نظر جسمی، اجتماعی و اقتصادی، دسترسی به غذای کافی، ایمن و مقوی دارند که با نیازها و ترجیحات غذایی آن‌ها برای یک زندگی فعال و سالم مطابقت داشته باشد (FAO, 2014). از مهم‌ترین چالش‌های قرن بیست و یکم برای بهبود امنیت غذایی، حفظ تنوع زیستی کشاورزی است (TejaTscharntke, 2012). تنوع زیستی، یک عامل کلیدی در اطمینان از آن است که غذای کافی در هر مقیاس معینی در دسترس است و اغلب از نظر ترکیب ژنتیکی و

۱- دانشجوی دکترای اگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران.
۲- دانشیار پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: kkhoshbakht@sbu.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2022.75773.1102

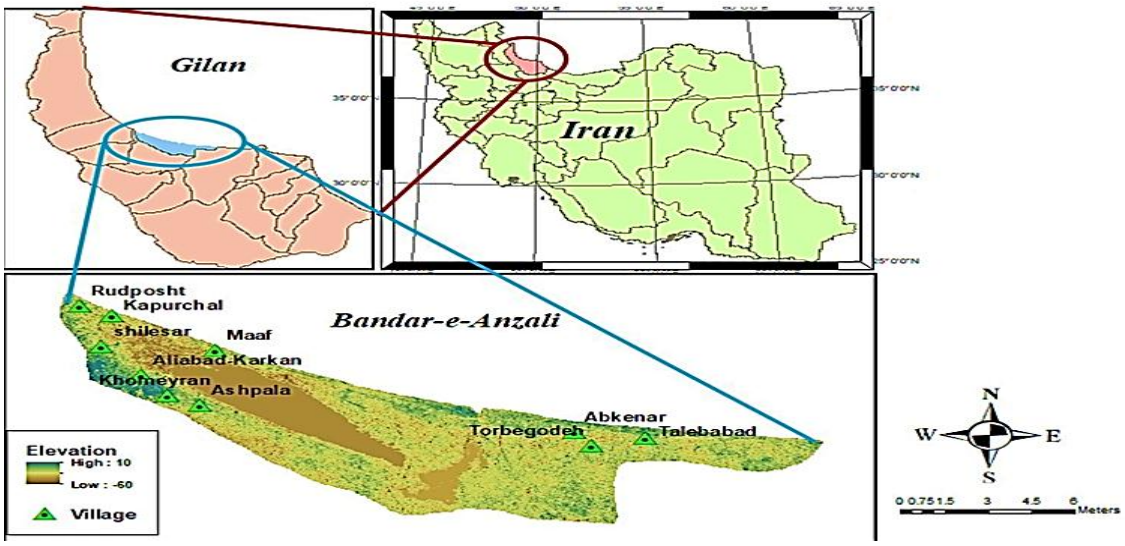
همچنین ثبات آن‌ها در سطح محلی ارزیابی می‌شود (Godfray, 2010). مناظر کشاورزی به‌دلیل تنوع زیاد انواع زیستگاه، به‌طور بالقوه گزینه خوبی برای حفظ تنوع زیستی هستند. سیستم‌های زراعی رایج و تک کشتی، به تعداد کمی از محصولات پرتولید و گسترش آن بستگی دارد و علاوه‌بر مشکلات زیست‌محیطی، منجر به کاهش قابل توجهی درتنوع زیستی گیاهان شده است (Hannah Wittman, 2017). تهدیدهای آینده برای تأمین مواد غذایی شرایطی مانند رشد جمعیت، تغییرات آب و هوایی جهانی، از دست دادن تنوع زیستی و کاهش منابع چالش‌های قابل توجهی در برابر عدم امنیت غذایی، به ویژه در محیط‌های کم درآمد است (Folberth, Godfray, 2010 ; 2020). افزایش تولیدات کشاورزی باعث استفاده بی رویه از آب و منابع طبیعی می‌شود، لذا تولید پایدار با کاشت گونه‌های متفاوت زراعی حفظ می‌شود (Burlingame, 2012; Connor, 2020; Fanzo, 2015). مطالعات متعددی در این راستا در کشورهای مختلف انجام شده است، امّا در ایران در سطح خانوار، مطالعه‌ای انجام نشده است (Dou et al, 2018; Charles F. Nicholson, 2020; Vogliano, 2021). کمبود تحلیل جامع رویکردهای متفاوت برای رفع نگرانی‌های مرتبط با امنیت غذایی و حفاظت از تنوع زیستی وجود دارد. از این‌رو، نیاز به ارزیابی چارچوب یکپارچه‌ای شامل مجموعه گسترده‌ای از متغیرها از جمله پویایی بیوفیزیکی، اجتماعی و مقیاس‌های سازمانی وجود دارد.

برنج (Oryza sativa) بعد از گندم دومین محصول تأمین‌کننده امنیت غذایی است. تولید این محصول در ایران سال گذشته، دو میلیون و ۶۰۰ هزار تن در ۸۰۰ هزار هکتار بوده است (Karimi, 2019). گیلان، بزرگ‌ترین تولیدکننده این ارقام بومی استراتژیک و باکیفیت در کشور محسوب می‌شود. اقتصاد بندر انزلی که یکی از شهرستان‌های ساحلی استان گیلان است، متکی به کشاورزی است. بیشترین رقم کشت شده برنج در این شهرستان، رقم هاشمی است که افزون بر ۸۵ درصد محصول برنج گیلان را شامل می‌شود و سایر ارقام برنج شامل (خزر، شیرودی، علی کاظمی، بی نام، جمشیدی، دم سیاه و ...) در کمتر از ۲۰ درصد کشت می‌شود (Aghsaei, 2019; Akbarzadeh, 2022). این مطالعه با هدف بررسی امنیت غذایی و عوامل مؤثر در حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی به‌منظور تأمین امنیت غذایی پایدار انجام شده است. نیاز به تأمین غذایی، دسترسی به انرژی‌های زیستی، محدود کردن تغییرات اقلیمی وکنترل آلودگی هوا ما نشان می‌دهد که ترکیبات مختلفی از اقدامات زیست‌محیطی، مدیریت اکوسیستم کشاورزی و تغییرات مدیریتی می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش تنوع زیستی را در دهه‌های آینده را کنترل کند.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

بندر انزلی بستر خوبی برای تولید انواع محصولات کشاورزی هست، امّا از عدم توسعه‌یافتگی زیرساخت‌ها رنج می‌برد. بندر انزلی بعد از رشت، پرجمعیت‌ترین شهر استان گیلان می‌باشد که پراهمیت‌ترین شهر بندری در سواحل جنوبی دریای خزر به‌شمار می‌رود. جامعه آماری مورد مطالعه ما در شهرستان بندرانزلی، ۱۰روستا از مجموع ۳۰ روستای موجود است.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

Fig. 1- Map of the study area

روش مطالعه

پژوهش حاضر از نظر هدف از نوع کاربردی و از نظر روش، توصیفی تحلیلی می‌باشد. این مطالعه در دو مرحله انجام شده است:

وضعیت امنیت غذایی

اطلاعات مورد نیاز تحقیق، از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی (نتایج تفصیلی سرشماری‌های کشور و شناسنامه روستاها) و بخشی از طریق مطالعات میدانی (مشاهده، مصاحبه و پرسشنامه) به دست آمده است. مطالعات میدانی شامل مراجعه حضوری به تک تک روستاهای نمونه می‌باشد که ضمن تکمیل پرسشنامه و گفت وگو با اهالی روستا، اطلاعات شاخص‌های مورد نیاز امنیت غذایی مانند کفایت غذایی، سلامت، مغذی بودن، دسترسی، زندگی سالم و فعالیت‌های مناسب به‌دست آمده است. با توجه به شباهت این روستاها از لحاظ فرهنگ و قومیت اهالی و ساکنان آن، توپوگرافی و عرض جغرافیایی، از هر روستایی، ۳۰ درصد از خانوار به‌صورت تصادفی انتخاب شد که در مجموع، با موافقت ۹۰ سرپرست خانوار که سرپرست مزرعه نیز بوده‌اند، مصاحبه انجام گرفت. شایان ذکر است که با توجه به اینکه در این شهرستان، به‌صورت طایفه‌ای زندگی می‌کنند، در مصاحبه با یک سرپرست خانوار اطلاعات ۱۰ خانوار به دست می‌آمد. در قدم بعدی، سؤالاتی که متعلق به آن زیرمقیاس هستند را انتخاب نموده می‌کنیم. به‌عنوان مثال، مصرف مقادیر کافی از مواد غذایی و تنوع به‌معنی انواع مختلف مواد غذایی در پنج گروه اصلی مواد در هرم غذایی و کیفیت و بهداشت آن از این جهت که عاری از هرگونه آلودگی شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیک باشد، بررسی شد. در مورد ساعات فعالیت و دسترسی به غذا از دو بعد اقتصادی و فیزیکی و نبود رژیم غذایی سالم و بیماری‌های مرتبط با آن (چاقی، دیابت، بیماری‌های قلبی، ناباروری و سرطان) سؤال شد و به این ترتیب، هر زیرشاخص از جمع‌آوری اطلاعات و سؤالات پرسشنامه مربوط به آن شاخص تهیه شده است و در نهایت، بر روی داده‌ها در نرم‌افزار spss آنالیز و تحلیل انجام گرفت.

بررسی نقش شاخص‌های حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی در تأمین امنیت غذایی پایدار

این مطالعه میدانی از ۱۰۰ سرپرست مزرعه در ۱۰ روستا انجام شد که هر روستا به‌طور میانگین از ۱۰ مزرعه که اغلب شالیزار هستند برخوردار است. با مطالعات اسنادی مهم‌ترین عوامل مؤثر در حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی هر منطقه، در پنج گروه اقتصادی، اجتماعی، آموزشی، زیرساختی و سازمانی قرار گرفت. در همه موارد، حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی متغیر وابسته و عوامل مؤثر بر آن متغیر مستقل می‌باشند. سنجه‌های هر شاخص را مجموع سؤالات پرسشنامه مربوط به آن شاخص تشکیل داد. در نهایت، از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۹ برای رسم نمودار و تحلیل آماری و از ضریب همبستگی پیرسون به منظور تعیین میزان رابطه، نوع و جهت رابطه بین متغیرها استفاده شد. ابعاد اجتماعی از لحاظ مشارکت کشاورزان در روستاهای مختلف بندر انزلی و تعامل آن‌ها در تهیه بذور، درک و نگرش کشاورزان از تنوع زیستی کشاورزی و چندکشتی، بررسی اهداف و انگیزه کشاورزان از حفاظت، نقش علاقه و سلیقه کشاورز در انتخاب نوع گیاه برای کاشت، نقش انتخاب محصولات مختلف در تأمین امنیت غذایی خود و خانوار، تأثیر تاب‌آوری در مقابل بلایای مختلف مانند سیل، خشکسالی، آفت، اهمیت حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی به‌علت کاهش آسیب در برابر نوسان بازار و قیمت‌ها، کشت محصولات اثرگذار در زمینه حفظ تنوع زیستی کشاورزی، مشکلات اجتماعی مانند در نظر گرفتن جنبه‌های ریسک در تغییرات آب و هوایی مانند خسارات خشکسالی، رقابت فروش با سایر کشاورزان و بهداشتی مثل بیماری، مورد بررسی قرار گرفت.

تخمین حدودی میزان هدررفت مواد غذایی از مزرعه تا سفره، میزان وابستگی درآمد به کشاورزی، تأمین درآمد غیر از کشاورزی، داشتن بازار محلی و میزان فروش در بازار، تعداد نیروی کار در مزرعه، ناهنجاری‌ها و مشکلات اقتصادی ناشی از حفاظت از تنوع زراعی شامل گرانی، نرخ بهره‌وری، نوسانات بازار عوامل مورد مطالعه ابعاد اقتصادی در این مطالعه بوده است.

ابعاد آموزشی شامل میزان آگاهی کشاورزان از تنوع زراعی مزرعه، شیوه‌های حفاظت از آن و اهمیت آموزش به کشاورزان، آگاهی داشتن از نهاده‌های شیمیایی، مقدار و نحوه مصرف کود، سموم، آفت‌کش‌ها، علف‌کش بوده است که در این مطالعه بررسی شده است.

شیوه‌های حفاظت فعلی از تنوع زیستی و میزان رضایت کشاورز از آن، سبک و روش کشاورزی در رفتارهای حفاظت از تنوع زیستی

مزرعه، وجود یا عدم وجود دامپروری در مزارع و انواع شیوه‌های دامپروری در صورت حضور دام، بیشترین نقش مؤلفه‌های خارجی و استفاده از فرصت‌ها در جهت از حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی، خودکفایی در تأمین پنج گروه اصلی امنیت غذایی از محصولات کشاورزی داخل منطقه مورد مطالعه، میزان وابستگی امنیت غذایی منطقه به محصولات کشاورزی وارداتی، نقش تغییر کاربری اراضی در کاهش تنوع زیستی کشاورزی و امنیت غذایی و علل مختلف تغییر کاربری زمین، ابعاد زیرساختی را شامل شده است. نقش یارانه تشویقی دولت در حفاظت از تنوع زیستی مزرعه، یارانه دولتی در حفاظت از مزرعه، محصولات زراعی آسیب دیده و در استفاده از نهاده‌های شیمیایی، وجود قرارداد و الزام بر تنوع زیستی کشاورزی بر اساس مساحت مزرعه، کارا بودن برنامه‌های مدون سازمانی شامل ملاحظات منطقه‌ای، محلی و مدیریتی بر اساس برنامه‌ها، بدون توجه به برنامه‌های سازمانی و یا صرفاً با نظارت مسئولین مرتبط از ابعاد سازمانی مورد مطالعه بوده است. ابعاد زیست‌محیطی شامل میزان هدررفت گونه‌های زراعی از مزرعه تا سفره، اهمیت خدمات اکوسیستمی و زیست‌محیطی در انتخاب نوع محصولات کشت شده و مشکلات طبیعی مربوط به منابع طبیعی مثل هدررفت و کاهش کیفیت آب و ... بوده است که مورد مطالعه قرار گرفته است.

جدول ۱- اطلاعات جمعیتی روستاهای مورد مطالعه و میزان شباهت روستاهای مورد مطالعه با یکدیگر از نظر توپوگرافی و عرض جغرافیایی

Table 1- Demographic information of the studied villages and the similarity of the studied villages with each other in terms of topography and latitude

عدد Number	نام روستا Village name	مختصات جغرافیایی Geographical coordinates	جمعیت روستا Village population (person)	تعداد خانوار Number of households
1	تربگوده Torbegode	37°26'58.9"N 49°32'03.0"E	299	94
2	طالب‌آباد Talebabad	37°27'20.8"N 49°34'05.1"E	2025	678
3	رود پشت Rudposht	37°33'27.1"N 49°12'36.6"E	396	115
4	خمیران Khomeyran	37°29'14.5"N 49°15'57.8"E	405	116
5	شیله سر Shilesar	37°31'31.4"N 49°13'23.5"E	354	112
6	معاف Maaf	37°24'23.9"N 49°16'40.2"E	219	71
7	اشپلا Ashpala	37°28'39.9"N 49°17'11.0"E	200	53
8	آبکنار Abkenar	37°28'04.1 "N 49°19'04.3 "E	2994	943
9	علی آباد- کرکان Aliabad-karkan	37°30'10.9"N 49°14'56.2"E	560	279
10	کپورچال Kapurchal	37°33'11.1"N 49°13'46.2"E	1848	574

نتایج و بحث

وضعیت امنیت غذایی

۴۳/۲۲ درصد افراد دارای امنیت غذایی و بقیه افراد در ناامنی غذایی به سر می‌برند که ناامنی غذایی به سه دسته گرسنگی متوسط با ۱۱/۵۶ درصد، گرسنگی کم با ۲۶/۵ درصد و گرسنگی شدید با ۱۸/۶۶ درصد در این منطقه مورد مطالعه تقسیم می‌شود (جدول ۲).

این شهرستان به‌ترتیب دارای کفایت غذایی، دسترسی به مواد غذایی، داشتن فعالیت سالم که حدود هشت ساعت در روز است، امّا از لحاظ زندگی سالم به دور از بیماری، مغذی بودن و داشتن سلامت غذایی عاری از نهاده‌های شیمیایی، ضعیف می‌باشد. یافته‌های این مطالعه بیانگر وجود رابطه معنی‌داری و مثبتی بین امنیت غذایی خانوارهای روستایی مورد مطالعه با متغیرهای مورد بررسی می‌باشد، به‌نحوی که با افزایش هر کدام امنیت غذایی در افراد مورد مطالعه

بیشتر می‌شود ($p \leq 0.05$). در این پژوهش، افراد با گرسنگی شدید عبارتند از: افرادی که زمین ندارند یا در مناطقی زندگی می‌کنند که به شغل‌های غیر از کشاورزی مشغول هستند و پتانسیل‌های کشاورزی در آن ناچیز یا ضعیف است. با افزایش دسترسی به مواد غذایی در روستا ناامنی غذایی خانوار کاهش و برعکس، با افزایش فاصله روستا از شهر، ناامنی غذایی خانوار افزایش می‌یابد. وضعیت مسکن، وضعیت خودرو و وضعیت درآمد ماهانه خانوار از دیگر عوامل مؤثر بر امنیت غذایی خانوار است. دسترسی به غذا که به سطح فقر، قدرت خرید خانواده‌ها، قیمت‌ها و وجود زیرساخت‌های بازار و حمل ونقل و سیستم توزیع غذا وابسته است. استفاده مطلوب از غذای سالم و مغذی به بهداشت و تغذیه، کیفیت و سلامت غذا و استفاده کمتر از نهاده‌های شیمیایی بستگی دارد. عوامل اقتصادی و درآمدی نقش اساسی و تعیین‌کننده‌ای در امنیت غذایی و توان بالقوه خانوار در برآورده کردن نیازها دارد، عوامل فرهنگی و اجتماعی نیز نقش شایان توجهی در مدیریت مؤثر بودجه خانوار و انتخاب غذای مناسب با قیمت بهتر دارد.

هرچند حدود نیمی از جامعه دسترسی اقتصادی و فیزیکی به مواد غذایی دارند، امّا رفتارها و انتخاب‌های غذایی نامناسبی را نشان می دهند که در تحلیل ریشه‌یابی این گونه رفتارهای غذایی در جامعه، علاوه‌بر سهم غذا و درآمد خانوار توجه به عوامل اجتماعی- فرهنگی از قبیل سطح سواد سرپرست خانوار، وضعیت شغلی و اجتماعی سرپرست و به‌طور کلی، جایگاه اجتماعی-فرهنگی ضروری است. مردم روستاهای تربگوده، رود پشت و کپورچال که به‌غیر از کشاورزی و شالیکاری، منبع درآمد دیگری دارند و گونه‌های دیگری را به‌صورت فصلی و تازه خوری و بدون استفاده از نهاده‌های شیمیایی کشت می‌کنند، نسبت به روستاهای دیگر در وضعیت بهتری از امنیت غذایی می‌باشند.

آلفای کرونباخ یکی از روش‌های سنجش پایایی است که فقط به انجام یک بار آزمون نیاز دارد تا برآوردی از پایایی آزمون را فراهم کند. مقدار آلفا در این مطالعه ۰/۸۳ برآورد شد که نشان می‌دهد، نتایج قابل اعتماد است.

جدول ۲- بررسی فراوانی شاخص‌های امنیت غذایی

Table 2- Examining the frequency of food safety indicators

شاخص‌ها Indicators	طیف‌ها Ranking	فراوانی Abundance	درصد Percentage
کفایت غذایی Nutritional adequacy	خیلی کم Very low	43	4.8
	کم Low	66	7.3
	متوسط Medium	31	3.4
	زیاد High	302	33.6
	خیلی زیاد Very much	458	50.9
سلامت غذایی Food health	خیلی کم Very low	309	34.3
	کم Low	533	59.2
	متوسط Medium	10	1.1
	زیاد Much	27	3
	خیلی زیاد Very much	21	2.3

مغذی بودن Nutritious	خیلی کم Very low		
	کم Low	232	25.8
	متوسط Medium	410	45.6
	زیاد High	130	14.4
	خیلی زیاد Very high	96	10.7
		32	3.6
دسترسی Access	خیلی کم Very low		
	کم Low	30	3.3
	متوسط Medium	49	5.4
	زیاد High	186	20.7
	خیلی زیاد Very high	370	41.1
		265	29.4
زندگی سالم Healthy life	خیلی کم Very low		
	کم Low	275	30.6
	متوسط Medium	205	22.8
	زیاد High	87	9.7
	خیلی زیاد Very high	215	23.9
		118	13.1
فعالیت مناسب Proper activity	خیلی کم Very low		
	کم Low	49	5.4
	متوسط Medium	71	7.9
	زیاد High	137	15.2
	خیلی زیاد Very high	374	41.6
		269	29.9
امنیت غذایی Food security	بسیار کم (ناامنی غذایی و گرسنگی شدید) Very low (food insecurity and severe hunger)		
	کم (ناامنی غذایی و گرسنگی کم) Low (food insecurity and low hunger)	938	18.66
	متوسط (ناامنی غذایی و گرسنگی متوسط) Moderate (food insecurity and moderate hunger)	1334	26.5
	زیاد (مثبت) High (positive)	581	11.56
	خیلی زیاد (مثبت) Very High (positive)	1010	20.09
		1163	23.13
مجموع Total		5026	

در مطالعاتی صرفاً کفایت را دلیل بر امنیت غذایی دانسته‌اند و فقط عدم کفایت غذایی بدون در نظر گرفتن عوامل دیگر

منعکس‌کننده عدم امنیت غذایی است که خانوار، اضطراب در مورد مقدار ناکافی مواد غذایی دارند و درک خانواده از مقدار رژیم غذایی صرف نظر از ترکیب غذایی آن بیان می‌کند (Coates, 2007 ; Mango, 2014; Mango, 2018). در مورد سلامت غذایی در منطقه مطالعاتی ۹۳/۵ درصد افراد، سلامت غذایی کمی داشتند و علت آن را مصرف بالای نهاده‌های شیمیایی می‌دانستند، در مطالعه‌ای مشابه کاهش مواد مغذی خاک، تلفات محصول ناشی از آفات، اثرات کود بر کیفیت آب، نگرانی‌های زیست‌محیطی در مورد کودها، اثرات آفت‌کش‌ها بر سلامت انسان وفناوری موجود همگی بر تولید مواد غذایی تأثیر می‌گذارد (Ferranti, 2016). ۷۱/۴ درصد افراد نیز غذای غیرمغذی دریافت می‌کنند و غذای مصرفی شامل هر پنج گروه غذایی اصلی نمی‌شود. در این شهرستان، تمایل به تک کشتی برنج صرفاً به خاطر سیری ظاهری و نه سیری سلولی است. تک کشتی برنج و عدم مغذی بودن رژیم غذایی در منطقه مطالعاتی به این علت است که کشت رژیم‌های غذایی با انرژی بالا، امّا کم تنوع و غیرمغذی، ارزان است (Foresigh, 2011). به‌منظور افزایش موادمغذی، روش‌هایی شامل معرفی انواع برنج بهبود یافته، مدیریت مواد مغذی و آب، مدیریت آفات مبتنی بر محیط زیست و روش‌های تلفیقی کنترل آفات integrated pest management (IPM) مانند حشرات، جوندگان و علف‌های هرز توصیه می‌شود. حفظ تنوع زیستی گونه‌های بومی، تخریب خاک، آلودگی آب، استفاده بیش از حد از مواد شیمیایی، انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد، لذا باعث افزایش مغذی بودن رژیم غذایی افراد می‌شود (Connor, Singleton, 2018 ; 2020). در دسترس بودن مواد غذایی به‌علت کوچک بودن مساحت منطقه مطالعاتی و فروش در بازارهای محلی بالاست. این مطالعه نشان می‌دهد که توسعه مشاغل، با تمرکز بر توسعه برنامه‌های عملیاتی کشاورزی برای افزایش بهره‌وری و تنوع غذایی، افزایش تخصص‌های کشاورزی از طریق دوره‌های آموزشی، ارائه منابع اعتباری بیشتر مانند وام‌های بلندمدت برای کمک به مردم در خرید یا اجاره خانه، اگر به‌صورت منطقه‌ای اعمال شود، می‌تواند دسترسی به بازارها برای خرید مواد غذایی خانوار را بهبود بخشد. در مطالعه‌ای بالعکس، به این نتیجه رسیدند که دسترسی و استفاده از مواد غذایی توسط سیاست‌های تک کشتی غذایی تهدید می‌شود (Montenegro, 2016; Montenegro, 2019). زندگی سالم یعنی عاری از هرگونه بیماری کم و حدود ۵۳/۸ درصد است. مشارکت در فعالیت‌های شغلی کشاورزی متنوع به خانوارهای روستایی کمک می‌کند تا به مواد غذایی مغذی، سالم و کم هزینه دسترسی داشته باشند. نیاز به تجزیه و تحلیل مقیاس منطقه‌ای، امنیت غذایی را تقویت می‌کند. در مطالعه‌ای عنوان شده که برای حفظ یک زندگی سالم استفاده پایدار و مدیریت منابع طبیعی ضروری است و یک زندگی سالم باید توسط همه افراد در جهان محقق شود (Preetika Chowdhury, 2017 ; Pachapur, 2020). در رابطه با زندگی فعال ۷۱/۵ درصد افراد فعالیت بالایی دارند و بیشتر از هشت ساعت در روز کار می‌کنند. در همین راستا، در مطالعه‌ای به این نتیجه رسیدند که فرد باید قادر به کار و فعالیت باشد و با آگاهی از مسئولیت‌های خانوادگی خود در تأمین غذا مشارکت کرده تا یک شیوه زندگی سالم برای آن‌ها اطمینان حاصل شود (Dou, 2017Mohr, 2016 ;). مشارکت در فعالیت‌های شغلی متنوع به‌غیر از کشاورزی به خانوارهای روستایی کمک می‌کند تا به مواد غذایی مناسب، سالم و کم هزینه دسترسی داشته باشند. مواد غذایی از طریق افزایش در دسترس بودن غذا، کالری دریافتی آن‌ها را بهبود می‌بخشد (Bogin, Gaihaa, 2010 ; 2014). در ارتباط با امنیت غذایی در نهایت، حدود ۴۰ درصد از جمعیت این منطقه دارای امنیت غذایی می‌باشند. نداشتن امنیت غذایی نسبی ناشی از توجه به تک کشتی برنج و نادیده گرفتن موارد دیگر مانند کمبود آب در سال‌های اخیر است. اگرچه تنوع محصول می‌تواند یک گزینه مناسب در کاهش خطرات مرتبط با عدم امنیت غذایی باشد، نگرش درآمد حاصل از کاشت گونه‌های متنوع و ذخایر ژنتیک بومی علی‌رغم نگرانی موجه آن‌ها در مورد تقاضای رو به افزایش غذا همچنان وجود دارد (Coates, 2007; Connor& San, 2021). بهبود امنیت غذایی به‌ویژه برای کشورهای در حال توسعه که در آن پیشرفت‌های اجتماعی، سیاسی، فرهنگی و اقتصادی همچون ایجاد بسترهای ترویج کشاورزی ارگانیک و روش کاهش سموم و کودهای شیمیایی، حمایت از تولید سموم و کودهای ارگانیک، ترویج الگوی مصرفی منعطف و استفاده از غذاهای مغذی بومی، آموزش کشت فردی برخی محصولات توسط خانوار و تدبیر معیشت، ترویج غذای سالم بومی و فرهنگ مصرفی خوداتکا و ایجاد استانداردهای کیفیتی غذا و محصولات کشاورزی، حمایت مداوم از کشاورزی و اقلام راهبردی، ایجاد بسترهای حمایت از صادرات داخلی کشاورزی و کنترل قیمت اقلام ضروری، توسعه کشاورزی و صنایع تبدیلی و ترویج کشاورزی دانش بنیان، هدف‌گذاری درست یارانه‌ها و اعتبارات

و تعرفه‌ها، یک امر بسیار مهم است. در این راستا، پیشنهاد می‌شود، دولت سیاست‌هایی مانند یارانه‌های نقدی سراسری مواد غذایی را در راستای بهبود امنیت غذایی، حمایت مستقیم از خانوارهای کم درآمد و تخصیص یارانه بر اساس موقعیت جغرافیایی این خانوارها اتخاذ کند. در این راستا، پیشنهاد می‌شود، دولت سیاست‌هایی مانند یارانه‌های نقدی سراسری مواد غذایی در راستای بهبود امنیت غذایی، حمایت مستقیم از خانوارهای کم درآمد و تخصیص یارانه بر اساس موقعیت جغرافیایی این خانوارها اتخاذ کند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که حتی در یک شهرستان، ارتباط بین عوامل اقتصادی- اجتماعی و کالری دریافتی می‌تواند از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت باشد. بدین ترتیب، اگر دولت‌ها سیاست خاصی را انتخاب کنند (به‌عنوان مثال، سیاست‌های آموزشی)، باید استان‌هایی مورد هدف قرار گیرد که در آن‌ها امنیت غذایی با مصرف کالری ارتباط منفی دارد. سیاست‌های ساده افزایش درآمد همیشه یک روش مؤثر برای بهبود کالری دریافتی در مناطق روستایی نیست. نهادهای دولتی مرتبط و خصوصی باید بر سایر عوامل اقتصادی اجتماعی تمرکز کرده و آن‌ها را با اولویت‌بندی در بهبود کالری دریافتی در خانواده و بهبود نتایج بهداشتی قرار دهند. دولت‌ها، به‌ویژه در کشورهایی که با محدودیت‌های اقتصادی و مالی دشوار روبرو هستند، دقیقاً عوامل اجتماعی و اقتصادی منطقه‌ای را برای هدف قرار دادن بهبود وضعیت امنیت غذایی مشخص کنند و نباید به‌عنوان یک قاعده، سیاست یکسانی را برای تمام بخش‌های کشور تجویز کنند. در یک کشور با مازاد غذا دولت‌ها باید از قسمت‌های فقیرتر که از عدم امنیت غذایی رنج می‌برند، حمایت کنند.

بررسی نقش شاخص‌های حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی در بهبود امنیت غذایی

در تمام روستاها به‌غیر از روستای معاف، عوامل زیرساختی بیشترین تأثیر را در حفظ تنوع زیستی دارد و در روستای معاف، عوامل اقتصادی بیشترین تأثیر را دارد. بیشترین انحراف معیار نیز در عوامل زیرساختی مربوط به روستاهای تربگوده، طالب‌آباد، شیله سر، خمیران، اشپلا، آبکنار و کپورچال دیده می‌شود. بیشترین انحراف معیار در روستای دیگر مربوط به عوامل اقتصادی است. در روستاهای تربگوده و رودپشت اهمیت عوامل آموزشی، روستاهای طالب‌آباد، شیله سر و کپورچال اهمیت عوامل اجتماعی، روستاهای خمیران، معاف و اشپلا اهمیت عوامل زیرساختی و در روستای آبکنار عوامل زیست‌محیطی، بیشتر است. شایان ذکر است، با توجه به تشابه روستاها اهمیت عوامل مختلف حدوداً یکسان است.

بیش از نیمی از کشاورزان (۵۲ درصد) میزان هدررفت محصولات کشاورزی از مزرعه تا سفره را کمتر از پنج درصد عنوان کردند. ۷۴ درصد از کشاورزان از بذور سال قبل استفاده می‌کردند. ۷۵ درصد از کشاورزان تمایل به تک کشتی برنج داشتند. وابستگی به کشاورزی در این روستا ۶۴ درصد تخمین زده شد و ۶۵ درصد کشاورزان به‌غیر از کشاورزی، ماهیگیری می‌کردند. در ۶۵ درصد روستاها، بازار محلی وجود داشت، امّا برای فروش محصولاتشان که اغلب برنج بوده است، از بازار محلی استفاده نمی‌شد و محصولات آن‌ها یا پیش‌فروش می شد و یا سر مزرعه به فروش می‌رسید. ۶۵ درصد کشاورزان، کمتر از ۲۵ درصد محصولاتشان را در بازارهای محلی می‌فروختند. اهداف و انگیزه ۵۲ درصد کشاورزان از حفاظت تنوع زیستی، صرفاً در تأمین درآمد و معیشت خانواده بوده است. ۶۴ درصد سرپرستان مزرعه، از حفاظت تنوع زیستی کشاورزی بی اطلاع و ناآگاه بودند. درک و نگرش ۴۲ درصد کشاورزان از تنوع زیستی، صرفاً بعد مالی بوده و بقیه کشاورزان با جنبه‌های تولیدی، تعصبات کاشت طبق روال گذشته، استفاده خانگی و بعد زیبایی آن آشنا بودند. سبک و روش کشاورزی در رفتارهای حفاظتی حدود ۱۳ درصد برگرفته از کشاورزی چند کارکردی بوده است و بقیه کشاورزی رایج و نامطلع از رفتارهای حفاظتی بوده‌اند. بیش از ۷۰ درصد کشاورزان، کمتر از ۲۵ درصد نسبت به اهمیت خدمات اکوسیستمی و زیست‌محیطی که عبارتند از: خدمات فرهنگی (مانند منافع غیر مادی و معنوی، تفریح، و گردشگری، لذت و آرامش روانی و...)، خدمات تنظیمی (مانند کنترل آفات و بیماری، تطبیق در برابر تغییر اقلیم و ..)، خدمات تأمین (مانند برداشت مستقیم گونه زراعی در تأمین غذا، سوخت و ...) و خدمات حمایتی (مانند سلامت آب و خاک، چرخه مواد غذایی و ...) در انتخاب نوع محصول کشت شده توجه می‌کنند. در این منطقه مورد مطالعه، نقش یارانه‌های دولتی صرفاً برای محصولات آسیب‌دیده نسبت به سیل، خشکی و استفاده از نهاده‌های شیمیایی اهمیت داشت. ۷۸ درصد کشاورزان، دامپروری به‌شیوه رایج چرا و بدون رفتار حفاظتی در مزارع دارند و مابقی دامپروری ندارند. نیروی کار در مزرعه متفاوت است و بیش از نیمی افراد در شالیزارها، نیروهای کار خانگی هستند. بیش از ۷۵ درصد کشاورزان اعتقاد دارند، آموزش به کشاورزان به

منظور رفتارهای حفاظتی از مزارع اهمیت زیادی دارد. ۸۱ درصد کشاورزان ناهنجاری‌ها و مشکلات اجتماعی ناشی از حفاظت از مزرعه را ناشی از مسائل اقتصادی از قبیل گرانی، نرخ بهره‌وری و نوسانات بازار می‌دانستند، اگرچه مسائل اجتماعی مانند در نظر گرفتن جنبه‌های ریسک در تغییرات آب و هوایی مانند خسارات خشکسالی، رقابت فروش با سایر کشاورزان بی تأثیر نیست. حدوداً دو درصد کشاورزان مشکلات طبیعی مانند کمبود مربوط به منابع طبیعی مثل آب و فرسایش خاک را جدی می‌دانستند. ۹۰ درصد از کشاورزان، قراردادهای حفاظت از تنوع زیستی نداشتند و فقط ۱۰ درصد از کشاورزان معتقد بودند که این قراردادها بر اساس اندازه مزرعه اعمال می‌شود. در ارتباط با آگاهی داشتن از نهاده‌های شیمیایی، مقدار و نحوه مصرف کود، سموم، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها، ۹۵درصد از کشاورزان آگاهی نداشتند و مصرف آن بر اساس دستورات قبلی بود. پنج درصد از کشاورزان، آگاهی از میزان مصرف نهاده‌های شیمیایی بر اساس نوع محصول کاشته شده داشتند. در خصوص کارا بودن برنامه‌های مدون سازمانی شامل ملاحظات منطقه‌ای، محلی و مدیریتی، ۷۵ درصد از کشاورزان عملیات زراعی خود را بدون توجه به برنامه‌های سازمانی و ۲۵ درصد از کشاورزان اجرای برنامه‌های سازمانی را صرفاً با نظارت مسئولین انجام می‌دادند. ۹۲ درصد از کشاورزان نقش تغییر کاربری اراضی را بسیار زیاد و مهم‌ترین دلیل کاهش تنوع زیستی می‌دانستند و هشت درصد مابقی، دلایل دیگر مانند بعد مالی و تولیدی به‌ویژه در مورد برنج را اساسی‌تر از تغییر کاربری اعلام کردند. اهمیت نقش تغییر کاربری زمین در کاهش تنوع زیستی کشاورزی و امنیت غذایی را ۸۵ درصد از کشاورزان زیاد می‌دانستند و بقیه کشاورزان نقش تنوع زیستی را در راستای امنیت غذایی بی اهمیت اعلام نمودند. کشاورزان علل مختلف تغییر کاربری زمین را ساخت و ساز مسکونی برای فروش، تجارت و ویلاسازی می‌دانستند. نیمی از کشاورزان بیشترین نقش مؤلفه‌های خارجی و استفاده از فرصت‌ها در جهت از حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی را زیرساخت‌های لازم دولتی و خصوصی مثل یارانه، تشویق، ترغیب و جریمه نام بردند و سایر کشاورزان به‌ترتیب برنامه‌ها و تصمیمات دوره‌ای، بیمه، دوره‌های آموزشی درباره اختصاص مزارع به تنوع زراعی را مهم‌ترین عوامل می‌دانستند. همه کشاورزان نقش نوع گونه‌های زراعی مختلف برای کشت را در تأمین امنیت غذایی خود و خانوار مهم و اساسی دانستند. ۹۶ درصد از کشاورزان در ارتباط با تأثیر حفظ تاب‌آوری در مقابل بلایای مختلف مانند سیل، خشکسالی، آفت، نوسان بازار و ... و کشت محصولات اثرگذار در حفظ تنوع زیستی کشاورزی ناآگاه بودند و یا اعتقاد داشتند که تأثیری ندارد و فقط چهار درصد کشاورزان نسبت به تأثیرات مثبت آن آگاهی داشتند. ۹۰ درصد کشاورزان خودکفایی در تأمین پنج گروه اصلی مواد غذایی از محصولات کشاورزی داخل شهرستان را این طور بیان کردند که بیش از ۸۰ درصد گروه‌های اصلی مواد غذایی فروخته می‌شود، ۱۰ درصد کشاورزان اعتقاد داشتند که بیشتر از ۸۰ درصد محصولات محلی در داخل شهرستان مصرف می‌شود و بیشتر از ۸۰ درصد محصولات بسته بندی و وارد شده، داخل شهرستان استفاده می‌شود. بیش از ۹۰ درصد از کشاورزان در این منطقه مورد مطالعه، میزان وابستگی امنیت غذایی به محصولات کشاورزی وارداتی را زیر ۵۰ درصد می‌دانستند (جدول ۳).

عوامل اجتماعی، اقتصادی، زیرساختی و زیست‌محیطی با حفاظت از چندکشتی در مزرعه رابطه مثبت و عوامل آموزشی و سازمانی رابطه منفی دارد. عوامل آموزشی و زیرساختی بیشترین تأثیر را در حفاظت از تنوع زیستی در کشاورزان دارد که عدم آگاهی و آموزش اثر منفی و بهبود زیر ساخت اثر مثبت دارد که در این دو مورد فرض صفر رد نمی‌شود، یعنی بین این متغیرهای مورد پژوهش ارتباط معنی‌داری وجود دارد. بین متغیرهای دیگر مانند عوامل اجتماعی، اقتصادی، سازمانی و زیست‌محیطی ارتباط معناداری وجود ندارد و هر یک از این عوامل به‌صورت مستقل بر حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی تأثیر می‌گذارند (جدول ۴).

مهم‌ترین دلیل تک کشتی و تمایل کشاورزان نسبت به کاشت برنج و کاهش تنوع زیستی کشاورزی، عوامل اقتصادی شامل بازارپسندی برنج و موفقیت در مقایسه با سایر رقبا، درآمد از فروش، تولید و کیفیت بالا، قیمت بالای بذور محصولات متنوع، مشکلات مکانیزاسیون چندکشتی و مالکیت مزرعه می‌باشد. در همین راستا، در مطالعه‌ای که توسط ملانی کانر در سال ۲۰۲۰ انجام شده است، به این نتیجه رسیدند که با استفاده از فن‌آوری‌های پیشرفته برنج منجر به استفاده مؤثرتر از آب، مواد مغذی و نیروی کار و تلفات آفت و پس از برداشت می‌شویم (Wehmeyer, 2020; Connor, 2021).

جدول ۳- تحلیل متغیرهای توصیفی و تأثیر آن بر حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی

Table 3- Analysis of descriptive variables and their impact on the conservation of agricultural biodiversity

نام روستا The name of the village	آنالیز شاخص های آماری Analysis of statistical indicators	متغیر اجتماعی Social variables	متغیراقتصادی Economical variables	متغیر آموزشی Economical variables	متغیر زیرساختی Infrastructure variables	متغیر سازمانی Organizational variables	متغیر زیست‌محیطی Environmental variables
تربگوده Torbegode	میانگین Average	12.00	14.30	6.20	17.20	13.90	3.50
	انحراف معیار Standard deviation	1.538	1.767	1.033	2.150	0.568	0.972
	درصد Percentage	8.8	8.6	11.1	8.9	10.2	8.4
طالب‌آباد Talebabad	میانگین Average	15.50	16.30	6.20	17.50	14.40	4.40
	انحراف معیار Standard deviation	2.273	2.710	0.632	3.440	1.075	1.265
	درصد Percentage	11.4	9.8	11.1	9.1	10.5	10.5
رودپشت Rudposht	میانگین Average	12.30	17.10	6.30	18.30	13.20	4.60
	انحراف معیار Standard deviation	0.949	2.424	1.059	2.406	1.317	1.075
	درصد Percentage	9.0	10.2	11.2	9.5	9.7	11.0
شیله سر Shilesar	میانگین Average	16.40	17.10	5.80	17.30	13.80	4.20
	انحراف معیار Standard deviation	2.011	2.234	0.789	3.466	1.033	1.398
	درصد Percentage	12.0	10.2	10.4	9.0	10.1	10.0
خمیران Khomeyran	میانگین Average	12.40	15.20	5.60	20.90	14.60	3.90
	انحراف معیار Standard deviation	1.430	2.300	1.647	3.247	0.966	0.568
	درصد Percentage	9.1	9.1	10.0	10.8	10.7	9.3
معاف Maaf	میانگین Average	12.70	17.70	5.60	21.30	14.10	3.90
	انحراف معیار Standard deviation	2.312	2.869	1.838	4.322	0.568	0.876
	درصد Percentage	9.3	10.6	10.0	11.1	10.3	9.3
اشپلا Ashpala	میانگین Average	12.60	17.20	5.30	21.30	12.70	4.10

	انحراف معیار Standard deviation	1.578	1.989	0.675	3.466	1.494	0.876
	درصد Percentage	9.2	10.3	9.5	11.1	9.3	9.8
علی‌آباد-کرکان Aliabad-karkan	میانگین Average	13.90	18.90	4.70	21.60	13.20	4.80
	انحراف معیار Standard deviation	2.644	3.247	1.252	2.503	2.486	0.632
	درصد Percentage	10.2	11.3	8.4	11.2	9.7	11.5
آبکنار Abkenar	میانگین Average	13.00	18.10	5.10	19.10	13.80	5.00
	انحراف معیار Standard deviation	1.414	1.370	1.524	2.331	1.476	1.054
	درصد Percentage	9.5	10.8	9.1	9.9	10.1	12.0
کپورچال Kapurchal	میانگین Average	15.70	15.10	5.20	18.20	12.80	3.40
	انحراف معیار Standard deviation	2.111	1.912	1.398	4.290	1.317	0.516
	درصد Percentage	11.5	9.0	9.3	9.4	9.4	8.1
مجموع Total	میانگین Average	13.65	16.70	5.60	19.27	13.65	4.18
	انحراف معیار Standard deviation	2.380	2.630	1.295	3.550	1.417	1.048
	درصد Percentage	100	100	100	100	100	100

جدول ٤- بررسی اهمیت متغیرهای مختلف در حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی

Table 4- Investigating the importance of different variables in the protection of agricultural biodiversity

متغیرها Variables	آزمون t T-test	ضریب همبستگی در سطح ۰/۰۵ Correlation coefficient at 0.05 level	خطای معیار The standard error	معنی‌داری آزمون در سطح ۰/۰۵ Significance (0.05)
اجتماعی Social	0.198	0.033	0.1682	0.844
اقتصادی Economical	1.093	0.180	0.1644	0.277
آموزشی Educational	2.649	-0.798	0.3014	0.009
زیرساختی Infrastructure	-2.043	0.235	0.1148	0.044
سازمانی Organizational	-1.467	-0.399	0.2721	0.146
زیست‌محیطی Environmental	0.861	0.349	0.4047	0.391
مجموع Total	0.976	5.664	5.8049	0.332

مطالعه‌ای در نیجریه به این نتیجه رسیدند که تنوع تولیدات کشاورزی در خانوارهای دارای درآمد بالاتر بیشتر است (Ayenew, 2011). با این حال، روشن است که تنوع تولید کشاورزی و بازارهای محلی روند متناقضی نیستند و اغلب مکمل یکدیگر هستند (Jones, 2016). یافته‌های موثقی نشان می‌دهد که تولید گونه‌های زراعی متنوع در خانوار منجر به رژیم‌های غذایی متنوع تر و مصرف بیشتر میوه‌ها ، سبزیجات و منابع حیوانی هدفمند می‌شود (Olney, 2015). اهمیت زیاد به وضعیت اقتصادی خانوار مانند درآمد، تحصیلات و شغل در افزایش شکل‌گیری ناامنی غذایی است. در میان خانوارهای کشاورز روستایی، اندازه زمین‌های بزرگ‌تر، تولیدات متنوع تر کشاورزی که خود با هم ارتباط مثبت دارند و دسترسی به بازارها نیز از عوامل اصلی خانوار هستند که عوامل تعیین‌کننده امنیت غذایی خانوارها می‌باشند.

از بعد اجتماعی می‌توان به مواردی مانند تقاضای بالا، تجربه و شناخته بودن گیاه زراعی برنج، عدم اطلاع کافی از مزایای چندکشتی و نقش علایق و سلیقه کشاورز در کاشت محصولات خود اشاره کرد که در مطالعاتی نیز به این موارد اشاره شده است. در مطالعاتی نیز به این دلایل برای تک کشتی برنج اشاره شده است که تولید برنج سبب بهبود معیشت و رفاه کشاورزان، کاهش آسیب‌پذیری کشاورزان در برابر اقتصاد نامطلوب و شرایط آب و هوایی، انسجام اجتماعی بهبود یافته در جوامع و کاهش درگیری‌های اجتماعی شده است (Connor, 2020; Akudugu, 2012; Mishra, 2018). از دیگر دلایل تک کشتی و تمایل کشاورزان نسبت به کاشت برنج عوامل اقلیمی شامل بارندگی بالا و دسترسی به آب، خاک رس و لوم مناسب کشت برنج، هوای مرطوب و ابری در این منطقه است که در مطالعاتی در همین راستا بیان شده است که برنج، تغذیه انسان را بهبود می‌ببخشد و سلامت افراد را به‌ویژه با توجه به تغییرات آب و هوا حفظ می‌کند (Raneri, 2019; Zimmerer, 2019) البته در مطالعاتی عکس این نتایج ثابت شده است، مثلاً گفته شده جایی که عملکرد یک گونه زراعی بالا می‌رود، سبب تخریب زمین و فرسایش خاک‌ها و منابع طبیعی می‌شود (Nicholson, 2020). برنج از نظر فرهنگی قابل توجه، مقاوم در برابر آب و هوا و حاوی مقادیر زیادی مواد مغذی هستند و در بهبود کیفیت رژیم غذایی و مقاومت به تغییرات اقلیمی مؤثر است که در این مطالعه، کشاورزان از لحاظ فرهنگی علت آن را نقش اجداد و فرهنگ سنتی در تک کشتی برنج، تغییر کاربری و کاهش مساحت زمین کشاورز، تأمین معیشت خانوار و دسترسی آسان به کود و آفت‌کش‌ها و سایر نهاده‌های شیمیایی می دانند (Vogliano, 2021; Nan, 2021). اهمیت عوامل زیرساختی در اکثر روستاها به‌ویژه تغییر کاربری غیر مجاز اراضی کشاورزی بندر انزلی در طی سالیان گذشته تاکنون، زنگ خطری برای امنیت غذایی و از بین رفتن زمین‌های مرغوب کشاورزی است. مهم‌ترین عامل اساسی تهدیدکننده بخش کشاورزی، تغییر کاربری غیرمجاز اراضی کشاورزی است و تغییر کاربری خطری بزرگ و جدی برای تأمین امنیت غذایی این منطقه به‌شمار می‌رود (Teklay, Aghsaei, 2019 ; 2019). علت اهمیت بالای عوامل اقتصادی در حفظ تنوع زیستی روستای معاف، تأمین درآمد بالای این روستا از طریق کشاورزی و فروش برنج است. در مطالعه‌ای خلاف این نتیجه گرفته شده است که با هدف به حداقل رساندن هزینه حمل و نقل و نهاده‌های شیمیایی برنج، می‌توان در جهت حفظ تنوع زراعی گونه‌های مختلف اقدام شود (Jifroudia, 2020). در مطالعه‌ای دیگر با توجه به افزایش تولید و گسترش زمین‌های کشاورزی در تک کشتی به‌طور کلی، فرض می شود که باعث تخریب اکوسیستم شود و بر تنوع زیستی تأثیر منفی می‌گذارد (Power, 2010; Hannah Wittman, 2017). در ارتباط با عوامل اجتماعی و زیست‌محیطی، علاوه‌بر افزایش جمعیت، تغییر اقلیم نیز محدودیت عرصه‌های طبیعی در تأمین امنیت غذایی را ایجاد می‌کند. با توجه به شرایط موجود راهکارهایی در زمینه توسعه پایدار و تأمین امنیت غذایی وجود دارد، ذخایر خود را باید شناسایی و حفظ کنیم و در عین حالT بتوانیم با استفاده از فناوری‌های نوین از این ذخایر بهره‌برداری کنیم. تنوع زیستی و ذخایر ژنتیک بومی بالا در این منطقه، می‌تواند در مسیر تأمین امنیت غذایی مورد استفاده قرار گیرد و همچنین می‌توان از تنوع زیستی شمال ایران در زمینه اکوتوریسم، تهیه گیاهان دارویی و خوراک دام بهره برد. تنوع زیستی را آلودگی‌ها، تغییر کاربری اراضی و گسترش شهرنشینی تهدید می‌کند و می‌توان با استفاده از روش‌های تلفیقی در زمینه حفظ ذخایر ژنتیک فعالیت کرد. در مطالعاتی مشابه به تلفیق تصمیمات مختلف زنجیره تأمین برنج از جمله کود دهی، کنترل آفات، برداشت، نگهداری، حمل و نقل و شبکه توزیع اشاره شده است که پیاده‌سازی مجموع این اهداف فقط با حفاظت از تنوع زیستی امکان‌پذیر است. همچنین تغییر الگوی کاشت

در این مناطق ضروری می‌باشد و می‌توان با وارد کردن گیاهانی مانند بقولات و یا حبوبات، از شرایط اقلیمی این مناطق برای افزایش تولید و تأمین امنیت غذایی استفاده نمود (Kiani, 2020; Jifroudia, 2020). اگرچه تنوع زراعی، می‌تواند یک گزینه مناسب در کاهش خطرات مرتبط با عدم امنیت غذایی باشد، نگرش درآمد حاصل از کاشت گونه‌های متنوع علی‌رغم نگرانی موجه آن‌ها در مورد تقاضای رو به افزایش غذا همچنان وجود دارد. از دیدگاه‌های تولید محور چند انتقاد عمده دریافت کرد: اول اینکه در منطقه مورد مطالعه، کفایت غذایی در گونه‌های زراعی زیادی به‌ویژه در غلات مشهود است. هرچند که در امنیت غذایی، تمرکز بر روی سطوح کل تولید کافی نیست و در بسیاری از موارد دلیل اصلی عدم امنیت غذایی، موانع دسترسی و توزیع می‌باشد. البته به‌طور عمده افزایش نگرانی در مورد از دست دادن تنوع زیستی، بهداشت محیط و انسان وجود دارد، بنابراین این امر نیاز به تخصص علمی در زمینه انجام دارد. امنیت غذایی و حفظ تنوع زیستی سیستم رقابتی فرض می‌شود که همیشه درگیر مبادله در برابر یکدیگر هستند. برعکس، شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد تنوع زیستی می‌تواند به‌طور فعال به امنیت غذا کمک کند (Burlingame, 2012; Wittman H, 2015; Hannah Wittman, 2017; Chris Vogliano, 2021) به همین ترتیب، حمایت از غذاهای بومی و سنتی به‌عنوان مبنای امنیت غذایی همچنین می‌توانند یک عملکرد محافظتی برای نگهداری تنوع زیستی محصولات کشاورزی منطقه‌ای باشد (van der Merwe, 2016 ; Wittman, 2017). دوماً هم حفظ تنوع زیستی و هم تأمین مواد غذایی متغیرهای فراتر از کشاورزی و تحت تأثیر متغیرهای مختلف قرار می‌گیرند(Fischer, 2014)، به‌عنوان مثال، عدالت، توانمندسازی و حکمرانی خوب برای هر دو حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی وامنیت غذایی مهم است(Speelman, 2014). به همین ترتیب، حفاظت برنامه‌ها باید معیشت و امنیت غذایی را در نظر بگیرند و حاکمیت و مشوق‌های خوبی را فراهم می‌کند یا جبران خسارت برای اطمینان از حفاظت از تنوع زیستی را شامل شود. سوماً اغلب نتایج منحصر به مکان و مقیاس‌های زمانی خاص و همچنین تعاملات بین آن‌ها است، لذا باید طولانی‌مدت و منطقه‌ای بررسی شود. تمرکز بر تأثیرات تک کشتی گیاهان زراعی برای اطمینان از دسترسی به غذای طولانی‌مدت و پایدار مهم است، به‌طور مثال، کشاورزان و گروه‌های خاص می‌توانند در دوره‌ای از تک کشتی، از حقوق و منابع محدودی برخوردار باشند که امنیت غذایی آن‌ها را محدود می‌کند و یا می‌تواند اثرات آن بر تنوع زیستی منفی باشد (Schipanski, 2016) . یکی دیگر از عوامل کاهش تنوع زیستی کنترل شیمیایی علف‌های هرز گیاهان بومی این منطقه است. طیف وسیعی از تنوع در علف‌های هرز برنج در مناطق بذر مستقیم در مقایسه با مناطق نشاکاری وجود دارد. تنوع گیاهان علف‌های هرز در سیستم‌های کشاورزی از تغییرات فصلی، تناوب محصول و بلندمدت، تغییرات محیطی مانند فرسایش خاک و تغییرات آب و هوایی حاصل می‌شود. عملیات کشاورزی مانند شخم، تنوع رشد گونه‌های گیاهان زراعی، روش‌های تلفیقی کنترل علف‌های هرز و کود و برنامه الگوی توزیع طبیعی در دسترس بودن منابع را تغییر می‌دهد، بنابراین، ساختار و ترکیب گونه‌های گیاهی را تغییر دهید(Lal, 2014; Kraehmer, 2016). درک ساختار جامعه شناختی علف‌های هرز در مزارع برنج امری است که پیش‌نیاز آن مدیریت مؤثر می‌باشد. مدیریت علف‌های هرز می‌تواند یک گام مؤثر در افزایش تولید باشد و از این رو، در حفظ عملکرد بالقوه واقعی گیاهان می‌تواند تولید را افزایش دهد. گونه‌های جدید علف هرز با تحمل در برابر سیلاب ابزار اصلی برای کنترل علف‌های هرزدر نشای برنج باعث مشکلات عدیده‌ای مانند استفاده از علف‌کش‌های بیشتر و تکرار آن می‌شود. به‌دلیل عدم آگاهی از شناسایی علف‌های هرز، هر ساله کار سم‌پاشی در مزرعه‌های برنج انجام می‌شود و جمعیت آن‌ها در حال افزایش است. از این رو، مطالعه نقش مدیریت در تجدید ساختار جوامع و گونه‌های تنوع علف‌های هرز و عوامل مؤثر در کنترل علف‌های هرز مزارع می‌تواند در توسعه استراتژی‌ها و مدیریت علف‌های هرز و متعاقباً افزایش تولید برنج مفید باشد. بسیاری از مطالعات بر تأثیرات منفی تسطیح زمین متمرکز شده‌اند که جمعیت میکروب بومی را کاهش و از بین می‌برد و در نتیجه، با عدم تعادل اکولوژیکی چرخه ماده مغذی، خطرات زیست‌محیطی بالقوه را افزایش می‌دهد که تنوع زیستی را کاهش می‌دهد (Yu, 2010; Chen, 2005). طبق استانداردهای جهانی باید از بذر گواهی شده که دارای گواهی استاندارد شده است و همچنین کود استاندارد شده استفاده کنیم که عاری از آفات و علف‌های هرز باشد که این امر موجب کاهش میزان هزینه و افزایش میزان محصول و در نهایت، شاهد افزایش میزان درآمد کشاورزان را به همراه خواهد داشت. یکی از راه‌های کمک به کشاورزان، قرار دادن بذر گواهی شده است، زیرا نوع بذری که باید استفاده کنند بسیار مهم است که در این راستا، بذرهای

رقم محلی و بذر اصلاح شده باید استاندارد و گواهی شده و عاری از بیماری‌های قارچی، آفات و علف‌های هرز باشند. اگرچه تسطیح زمین نوع شدیدی از آشفتگی خاک است، با این حال، توصیه می‌شود که پروژه‌های سطح‌بندی زمین به‌عنوان یک روش مدیریتی برای بهبود ناهمگنی و عمق منطقه ریشه اراضی شیب‌دار انجام شود. علاوه‌براین، جمع‌آوری خاک حاصلخیز سطحی قبل از اجرای پروژه و گسترش آن را پس از اجرای پروژه روی زمین همراه با استفاده از کود شیمیایی و حیاط مزرعه می‌تواند به خاک کمک کند که حالت اولیه خود را (قبل از ایجاد اختلال) پس از یک دوره بازیابی کند. امّا مطالعات میدانی طولانی‌مدت برای ارزیابی این که آیا این شیوه مدیریت خاک هزینه‌های تلفات خاک را جبران می‌کند یا خیر لازم خواهد بود.

نتیجه‌گیری

سرعت سرعت هشداردهنده از دست رفتن تنوع زیستی و تخریب اکوسیستم همزمان با تأثیر منفی تک کشتی بر معیشت و سلامتی مورد بررسی قرار گرفت. امروز مردم در حال مصرف غذاهایی هستند که بیشترین تأثیرات منفی را برای سلامتی و محیط زیست و از دست دادن تنوع زیستی دارد. در این مطالعه، یک رویکرد مفهومی را ترسیم کردیم که چشم‌اندازهای روستایی به‌عنوان سیستم‌های اکولوژیکی اجتماعی تعبیه شده است که بر امنیت غذایی و حفاظت از تنوع زیستی تأثیر می‌گذارد. ابتدا شاخص‌های امنیت غذایی را مطالعه کردیم. مرحله بعدی، لیست خصوصیات مؤثر بر حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی که سبب افزایش امنیت غذایی می‌شود، را بررسی کردیم. در نهایت، به دنبال شناسایی نقاط اهرم برای بهبود امنیت غذایی و حفظ تنوع زیستی از طریق ارزیابی تعامل بین این خصوصیات و اهمیت نسبی آن‌ها هستیم.

در هر منطقه این که چه جنبه‌هایی از حفاظت تنوع زیستی و امنیت غذایی توسط چه کسی و چگونه اولویت‌بندی شده است، کاهش حفاظت از تنوع زیستی با تخریب اکوسیستم و به‌طور گسترده گرسنگی را مشخص کند. این مطالعه یک نقطه شروع برای یک تحقیق جامع و بین رشته‌ای در مورد ارتباط بین امنیت غذایی و حفاظت از تنوع زیستی در مقیاس‌های زیست‌محیطی است که در آن خصوصیات مهم بیوفیزیکی شکل‌دهنده امنیت غذایی و حفاظت از تنوع زیستی، ساختار بازار، زیرساخت‌ها ، نهاده‌ها و دانش بومی کشاورزی، استراتژی‌های معیشتی و فعالیت‌های کشاورزی بررسی شده است.

خصوصیات نهادی و روش‌های منابع مالی، سیاست‌گذاری و نظارت متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرد و منجر به نتایج اقتصادی و زیست‌محیطی متفاوتی شده است. به‌طور کلی، در این منطقه، مزارع برنج با ورودی‌های نهاده‌های خارجی زیاد و تنوع زراعی کم و تأثیرات زیست‌محیطی می‌تواند در مناطق مختلف منجر به بازخورد زیست‌محیطی به‌عنوان مثال کاهش تنوع زیستی و حاصلخیزی خاک شود که بیشتر وابستگی را به پایه ورودی‌های سوخت فسیلی برای پایداری تولید محکم می‌کند. بدین منظور، تمرکز بر تولید محصولات کشاورزی برای مصرف داخلی با هدف افزایش امنیت غذایی با حمایت از معیشت روستایی و تولید مواد غذایی پایدار از نظر زیست‌محیطی می‌بایست در الویت قرار گیرد. در راستای حفظ تنوع زیستی اصلاح مجدد اعطای اعتبار کشاورزی به زنان و جوانان و توسعه مجدد بازارهای محلی حول یک ماتریس کشاورزی که در آن سیستم‌های نهاده‌های ورودی کم و تنوع زراعی به‌عنوان مثال، کشت مخلوط محصولات معیشتی و دامی و بازاریابی آن توصیه می‌شود. بازارهای داخلی برای خانوار کشاورزان پایدارتر از بازارهای صادرات جهانی است، زیرا تحت تأثیر شوک‌های قیمت جهانی قرار ندارند و کمتر در معرض حدس و گمان هستند. در این منطقه، می‌بایست از یک مدل تولید متنوع با تمرکز بر بازارهای محلی و مصرف ترکیبی از انواع محصولات زراعی در مزرعه استفاده شود. مشارکت در کشت گونه‌های زراعی متنوع از ثبات بیشتری پشتیبانی می‌کنند و می‌تواند درآمد خانوار را بهبود بخشد. توانایی دسترسی وکاشت ترکیبی از گونه‌های زراعی نوسانات اقتصادی به‌عنوان مثال قیمت و آسیب پذیری در برابر شوک‌های زیست‌محیطی به‌عنوان مثال، آب و هوا و آفات را با توزیع خطر بین چندین نوع محصول کاهش می‌دهد. ترکیبی از گونه‌های مختلف زراعی در اکوسیستم‌های کشاورزی خرده مالک نه تنها اجازه کارآیی بیشتری و استفاده از فرآیندهای زیست‌محیطی کشاورزی را می‌دهد، بلکه تنوع رژیم غذایی انسان و درآمد را بهبود می‌بخشد. بهبود درآمد، قدرت خرید خانواده و تأمین امنیت غذایی را بهبود می‌بخشد، در نتیجه امکان خرید سایر محصولات غذایی فراهم می‌شود. مناسب‌ترین الگو برای توسعه کشت ارگانیک محصول برنج، الگوی جامعه‌محور مبتنی بر نهادسازی با هدف توجه به کشاورزان خرده‌پا از طریق استفاده از رهیافت‌های مشارکتی راهکارهایی برای مدیریت پایدار تنوع زیستی است، به‌عنوان

مثال تناوب زراعی برنج در طولانی‌مدت با خانواده بقولات مانند شبدر (Trifolium) کیفیت خاک را بهبود می‌بخشد، لذا در پایداری امنیت غذایی اهمیت دارد. همچنین از راهکارهای مدیریتی حفاظت از تنوع زیستی در راستای امنیت غذایی پایدار می‌توان توجه به دانش محوری برای خودکفایی در تولید محصول، بهبود کارآیی تکنیکی، توسعه مکانیزاسیون، بهره‌برداری از منابع تولید، آب و خاک اشاره کرد. تقویت فعالیت‌هایی همچون احداث مزرعه الگویی کشت توأم برنج و ماهی و پرورش ماهی قزل آلا در شالیزار، اجرای دوره‌ای آموزشی و ترویجی، برگزاری جشنواره‌ها و نمایشگاه‌ها، تهیه و تدوین نشریات ترویجی و تهیه فیلم‌های آموزشی- ترویجی و برگزاری کارگاه‌های آموزش تخصصی می‌تواند در جهت آگاه‌سازی کشاورزان نسبت به تنوع زراعی گام بردارد. پیشنهاد می‌شود که برای استفاده از راهکارهای ترویجی، سیاست تأمین این اهداف به کشاورزان منتقل گردد. راه‌حل‌های زیست‌محیطی، مدیریت کاربری اراضی، تغییرات مصرف و کاهش ضایعات اهرم‌هایی برای کمک به کاهش از دست دادن تنوع زیستی است. شایان ذکر است که رویکردی که در اینجا بیان شده نشان‌دهنده نقطه پایانی این رابطه تحقیقاتی نیست و تحقیقات بین رشته‌ای بیشتری و همچنین چگونگی تلفیق اقدامات در مقیاس‌های مختلف مکانی و سیاسی لازم است. مقایسه نتایج مناطق روستایی با مناطق شهری به سیاست‌گذاری برای تدوین سیاست‌های مناسب و تعیین مناطق مورد نظردر اجرای سیاست‌ها در تحقیقات آینده کمک می‌کند که باید عوامل اجتماعی و اقتصادی امنیت غذایی را در مناطق شهری و روستایی همزمان بررسی شود.

هشداردهنده از دست رفتن تنوع زیستی و تخریب اکوسیستم همزمان با تأثیر منفی تک کشتی بر معیشت و سلامتی مورد بررسی قرار گرفت. امروز مردم در حال مصرف غذاهایی هستند که بیشترین تأثیرات منفی را برای سلامتی و محیط زیست و از دست دادن تنوع زیستی دارد. در این مطالعه، یک رویکرد مفهومی را ترسیم کردیم که چشم‌اندازهای روستایی به‌عنوان سیستم‌های اکولوژیکی اجتماعی تعبیه شده است که بر امنیت غذایی و حفاظت از تنوع زیستی تأثیر می‌گذارد. ابتدا شاخص‌های امنیت غذایی را مطالعه کردیم. مرحله بعدی، لیست خصوصیات مؤثر بر حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی که سبب افزایش امنیت غذایی می‌شود، را بررسی کردیم. در نهایت، به دنبال شناسایی نقاط اهرم برای بهبود امنیت غذایی و حفظ تنوع زیستی از طریق ارزیابی تعامل بین این خصوصیات و اهمیت نسبی آن‌ها هستیم. در هر منطقه این که چه جنبه‌هایی از حفاظت تنوع زیستی و امنیت غذایی توسط چه کسی و چگونه اولویت‌بندی شده است، کاهش حفاظت از تنوع زیستی با تخریب اکوسیستم و به‌طور گسترده گرسنگی را مشخص کند. این مطالعه یک نقطه شروع برای یک تحقیق جامع و بین رشته‌ای در مورد ارتباط بین امنیت غذایی و حفاظت از تنوع زیستی در مقیاس‌های زیست‌محیطی است که در آن خصوصیات مهم بیوفیزیکی شکل‌دهنده امنیت غذایی و حفاظت از تنوع زیستی، ساختار بازار، زیرساخت‌ها، نهاده‌ها و دانش بومی کشاورزی، استراتژی‌های معیشتی و فعالیت‌های کشاورزی بررسی شده است. خصوصیات نهادی و روش‌های منابع مالی، سیاست‌گذاری و نظارت متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرد و منجر به نتایج اقتصادی و زیست‌محیطی متفاوتی شده است. به‌طور کلی، در این منطقه، مزارع برنج با ورودی‌های نهاده‌های خارجی زیاد و تنوع زراعی کم و تأثیرات زیست‌محیطی می‌تواند در مناطق مختلف منجر به بازخورد زیست‌محیطی به‌عنوان مثال، کاهش تنوع زیستی و حاصلخیزی خاک شود که بیشتر وابستگی را به پایه ورودی‌های سوخت فسیلی برای پایداری تولید محکم می‌کند. بدین منظور، تمرکز بر تولید محصولات کشاورزی برای مصرف داخلی با هدف افزایش امنیت غذایی با حمایت از معیشت روستایی و تولید مواد غذایی پایدار از نظر زیست‌محیطی میبایست در الویت قرار گیرد. در راستای حفظ تنوع زیستی اصلاح مجدد اعطای اعتبار کشاورزی به زنان و جوانان و توسعه مجدد بازارهای محلی حول یک ماتریس کشاورزی که در آن سیستم‌های نهاده‌های ورودی کم و تنوع زراعی به‌عنوان مثال کشت مخلوط محصولات معیشتی و دامی و بازاریابی آن توصیه می‌شود. تولید متنوع با تمرکز بر برنج و محصولات مکمل گیاهان از نظر نهاده‌ها، هم برای معیشت خانواده و هم برای فروش دربازارهای منطقه‌ای برای بهبود امنیت غذایی داخلی و تنوع غذایی وکیفیت خانگی غذایی در بازارهای انزلی اساسی است(FAO, 2014 ; Garibaldi, 2017.) سهم عمده‌ای در دستیابی به اهداف حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی، با کاهش تقاضا و تغییر نوع مصرف و نوع سبک زندگی به‌خصوص با کاهش مصرف گوشت به‌میزان قابل توجهی محقق می‌شود (Stehfest, 2009 ; Machovina, 2015) . تغییر رژیم به‌سمت مصرف کمتر گوشت نیز سلامت انسان را بهبود می‌بخشد. با این حال، مصرف سرانه گوشت در سطح جهانی در حال افزایش است و انتظار می‌رود در دهه‌های آینده با افزایش جمعیت و درآمد در بیشتر

مناطق جهان باعث تغییر در رژیم غذایی و دستیابی به مصرف کمتر گوشت دشوارتر است (Henchion, 2014). کاهش ضایعات در کل زنجیره تولید تا مصرف، در کاهش تقاضا نسبت به محصولات کشاورزی تأثیر زیادی دارد(Parfitt, 2010). بازارهای داخلی برای خانوار کشاورزان پایدارتر از بازارهای صادرات جهانی است، زیرا تحت تأثیر شوک‌های قیمت جهانی قرار ندارند و کمتر در معرض حدس و گمان هستند. در این منطقه، می‌بایست از یک مدل تولید متنوع با تمرکز بر بازارهای محلی و مصرف ترکیبی از انواع محصولات زراعی در مزرعه استفاده شود. مشارکت در کشت گونه‌های زراعی متنوع از ثبات بیشتری پشتیبانی می‌کنند و می‌توانند درآمد خانوار را بهبود بخشد. توانایی دسترسی و کاشت ترکیبی از گونه‌های زراعی نوسانات اقتصادی به‌عنوان مثال قیمت و آسیب پذیری در برابر شوک‌های زیست‌محیطی به‌عنوان مثال، آب و هوا و آفات را با توزیع خطر بین چندین نوع محصول کاهش می‌دهد. ترکیبی از گونه‌های مختلف زراعی در اکوسیستم‌های کشاورزی خرده مالک نه تنها اجازه کارآیی بیشتری و استفاده از فرآیندهای زیست‌محیطی کشاورزی را می‌دهد، بلکه تنوع رژیم غذایی انسان و درآمد را بهبود می‌بخشد. بهبود درآمد، قدرت خرید خانواده و تأمین امنیت غذایی را بهبود می‌بخشد، در نتیجه امکان خرید سایر محصولات غذایی فراهم می‌شود. بدین ترتیب، تنوع تولید محصولات باید طیف گسترده‌ای از گونه‌های گیاهان زراعی را شامل شود، به‌ویژه آن‌هایی که در حال حاضر به عنوان کم‌استفاده یا کمیاب در رژیم‌های غذایی خانگی هستند (Mango, 2018). راه‌حل‌های زیست‌محیطی، مدیریت کاربری اراضی، تغییرات مصرف و کاهش ضایعات اهرم‌هایی برای کمک به کاهش از دست دادن تنوع زیستی است. شایان ذکر است که رویکردی که در اینجا بیان شده نشان‌دهنده نقطه پایانی این رابطه تحقیقاتی نیست و تحقیقات بین رشته‌ای بیشتری و همچنین چگونگی تلفیق اقدامات در مقیاس‌های مختلف مکانی و سیاسی لازم است. همچنین، مقایسه نتایج مناطق روستایی با مناطق شهری به سیاست‌گذاری برای تدوین سیاست‌های مناسب و تعیین مناطق مورد نظردر اجرای سیاست‌ها در تحقیقات آینده کمک می‌کند که باید عوامل اجتماعی و اقتصادی امنیت غذایی را در مناطق شهری و روستایی همزمان بررسی شود.

References

1. Aghsaei, H., Dinan, N.M., Moridi, A., Asadolahi, Z., Delavar, M., Fohrer, N., & Wagner, P.D. (2020). Effects of dynamic land use/land cover change on water resources and sediment yield in the Anzali wetland catchment, Gilan, Iran. *Science of the Total Environment*, *712*, 136449. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136449.
2. Agriculture Organization of the United Nations. Fisheries Department. (2014). *The state of world fisheries and aquaculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://doi.org/10.1080/03632415.2014.966265.
3. Akbarzadeh, E. (2022). Director of Agriculture of Guilan Agricultural Jihad Organization, Transplantation of 98% of rice fields in Gilan, 233 thousand hectares out of 238 thousand hectares of rice fields in Gilan have been planted. http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2020/36.4.1103.1111
4. Akudugu, M. A. (2012). Estimation of the determinants of credit demand by farmers and supply by rural banks in Ghana's Upper East Region. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, *2*(393-2016-23992), 189-200. DOI: 10.22004/ag.econ.197959.
5. Ayenew, Y.A., Wurzinger, M., Tegegne, A., & Zollitsch, W. (2011). Socioeconomic characteristics of urban and peri-urban dairy production systems in the North Western Ethiopian highlands. *Tropical Animal Health and Production*, *43*(6), 1145-1152. https://doi.org/10.1007/s11250-011-9815-3
6. Bogin, B., Azcorra, H., Wilson, H.J., Vázquez-Vázquez, A., Avila-Escalante, M.L., Varela-Silva, I., & Castillo-Burguete, M.T. (2014). Globalization and children's diets: The case of Maya of Mexico and Central America. *AnthropologicAl review*, *77*(1), 11-32. http://dx.doi.org/10.2478/anre-2014-0002
7. Burlingame, B., & Dernini, S. (2012). Sustainable diets and biodiversity directions and solutions for policy, research, and action. FAO Headquarters, Rome. URI: http://ir.must.ac.ug/xmlui/handle/123456789/415
8. Chen, Z., Yang, J., & Xie, Z. (2005). Economic development of local communities and biodiversity conservation: A case study from Shennongjia National Nature Reserve, China. *Biodiversity and Conservation*, *14*(9), 2095-2108. doi: https://doi.org/10.1007/s10531-004-4360-2

9. Chowdhury, R.B., Moore, G.A., Weatherley, A.J., & Arora, M. (2017). Key sustainability challenges for the global phosphorus resource, their implications for global food security, and options for mitigation. *Journal of Cleaner Production, 140*, 945-963. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.012
10. Coates, J., Swindale, A., & Bilinsky, P. (2007). Household Food Insecurity Access Scale (HFIAS) for measurement of food access: Indicator guide: Version 3.
11. Connor, M., & San, S.S. (2021). Sustainable rice farming and its impact on rural women in Myanmar. *Development in Practice, 31*(1), 49-58. https://doi.org/10.1080/09614524.2020.1787350
12. Connor, M., Quilloy, R., de Guia, A.H., & Singleton, G. (2022). Sustainable rice production in Myanmar impacts food security and livelihood changes. *International Journal of Agricultural Sustainability, 20*(1), 88-102. https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1918471
13. D'Souza, A., & Mishra, A.K. (2018). Adoption and abandonment of partial conservation technologies in developing economies: The case of South Asia. *Land Use Policy, 70*, 212-223. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.10.015
14. Dou, Z., Toth, J.D., & Westendorf, M.L., (2018). Food waste for livestock feeding: Feasibility, safety, and sustainability implications. *Global Food Security, 17*, 154-161. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.12.003
15. Erb, K.H., Lauk, C., Kastner, T., Mayer, A., Theurl, M.C., & Haberl, H. (2016). Exploring the biophysical option space for feeding the world without deforestation. *Nature Communications, 7*(1), 1-9.
16. Fanzo, J., (2015). Ethical issues for human nutrition in the context of global food security and sustainable development. *Global Food Security, 7*, 15-23. Doi:https://doi.org/10.1038/ncomms11382
17. Ferranti, P., (2016). Food sustainability, security, and effects of global change. *Journal of Food Security*. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03332-1
18. Fischer, E. F. (2014). *The good life: Aspiration, dignity, and the anthropology of wellbeing*. Stanford University Press. https://doi.org/10.1080/19452829.2017.1294750
19. Folberth, C., Khabarov, N., Balkovič, J., Skalský, R., Visconti, P., Ciais, P. & Obersteiner, M. (2020). The global cropland-sparing potential of high-yield farming. *Nature Sustainability, 3*(4), 281-289. https://doi.org/10.1098/rspb.2019.1483
20. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), and the International Fund for Agricultural Development (IFAD). 2014. The state of food insecurity in the world 2014. Strengthening the enabling environment for food security and nutrition. food system. *Food Security, 13*(4), 819-847.
21. Foresight, U.K., (2011). The Future of Food and Farming. Final Project Report. The Government Office for Science, London. https://doi.org/10.1080/08109028.2011.628564
22. Gaiha, R., Jha, R., & Kulkarni, V.S. (2010). Diets, nutrition, and poverty: the Indian experience. Available at SSRN 1734590. https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1734590
23. Garibaldi, L.A., Gemmill-Herren, B., D'Annolfo, R., Graeub, B.E., Cunningham, S.A., & Breeze, T.D. (2017). Farming approaches for greater biodiversity, livelihoods, and food security. *Trends in Ecology and Evolution, 32*(1), 68-80. https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.10.001
24. Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., & Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science, 327*(5967), 812-818. https://doi.org/10.1126/science.1185383
25. Golmohammadi, M.J., Mohammaddoust Chamanabad, H.R., Yaghoubi, B., & Oveisi, M. (2018). Rice weed community composition and richness in northern Iran: A temperate rainy area. Appllication. Ecology. Environment. *Res, 16*(4), 4605-4617. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1604_46054617
26. Henchion, M., McCarthy, M., Resconi, V.C., & Troy, D. (2014). Meat consumption: Trends and quality matters. *Meat Science, 98*(3), 561-568. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.007
27. Jifroudi, S., Teimoury, E., & Barzinpour, F. (2020). Designing and planning a rice supply chain: A case study for Iran farmlands. *Decision Science Letters, 9*(2), 163-180. http://dx.doi.org/10.5267/j.dsl.2020.1.001
28. Johnston, J.L., Fanzo, J.C., & Cogill, B. (2014). Understanding sustainable diets: A descriptive analysis of the determinants and processes that influence diets and their impact on health, food security, and environmental sustainability. *Advances in Nutrition, 5*(4), 418-429. https://doi.org/10.3945/an.113.005553
29. Jones, A.D. (2017). On-farm crop species richness is associated with household diet diversity and quality in subsistence-and market-oriented farming households in Malawi. *The Journal of Nutrition, 147*(1), 86-96. https://doi.org/10.3945/jn.116.235879

30. Karimi, F.A. (2019). Director General of the Office of Cereals and basic products of the deputy Minister of Agriculture of the Ministry of Agriculture, Production of 2.6 million tons of white rice in 2019. Kian, M.R.,
31. Koochek, A., Nassiri Mahallati, M., & Zareh Feiz Abadi, A. (2020). Long-term evaluation of crops agronomic density using crop density index in Iran crops production. *Journal of Agroecology, 12*(1), 55-69. (In Persian with English Summary) doi: 10.22067/jag.v12i1.74695
32. Kiani, B. H., Kayani, W. K., Khayam, A. U., Dilshad, E., Ismail, H., & Mirza, B. (2020). Artemisinin and its derivatives: A promising cancer therapy. *Molecular Biology Reports, 47*, 6321-6336. https://doi.org/10.1007/s11033-020-05669-z
33. Kraehmer, H., Jabran, K., Mennan, H., & Chauhan, B.S. (2016). Global distribution of rice weeds–A review. *Crop Protection, 80*, 73-86. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.10.027
34. Lal, B., Gautam, P., Raja, R., Nayak, A.K., Shahid, M., Tripathi, R., & Panda, B.B. (2014). Weed community composition after 43 years of long-term fertilization in tropical rice–rice system. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 197*, 301-308. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.08.014
35. Lathuillière, M.J., Johnson, M.S., Galford, G.L., & Couto, E.G. (2014). Environmental footprints show China and Europe's evolving resource appropriation for soybean production in Mato Grosso, Brazil. *Environmental Research Letters, 9*(7), 074001. Doi: 10.1088/1748-9326/9/7/074001.
36. Machovina, B., Feeley, K.J., & Ripple, W.J., (2015). Biodiversity conservation: The key is reducing meat consumption. *Science of the Total Environment, 536*, 419-431. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.022
37. Mango, N., Makate, C., Mapemba, L., & Sopo, M. (2018). The role of crop diversification in improving household food security in central Malawi. *Agriculture and Food Security, 7*(1), 1-10. https://doi.org/10.1080/23322039.2015.1088429
38. Mango, N., Zamasiya, B., Makate, C., Nyikahadzoi, K., & Siziba, S. (2014_. Factors influencing household food security among smallholder farmers in the Mudzi district of Zimbabwe. *Development Southern Africa, 31*(4), 625-640. https://doi.org/10.1080/0376835X.2014.911694
39. Mishra, V., Aaadhar, S., Shah, H., Kumar, R., Pattanaik, D. R., & Tiwari, A. D. (2018). The Kerala flood of 2018: combined impact of extreme rainfall and reservoir storage. https://doi.org/10.5194/hess-2018-480
40. Mohr, A., Beuchelt, T., Schneider, R., & Virchow, D. (2016). Food security criteria for voluntary biomass sustainability standards and certifications. *Biomass and Bioenergy, 89*, 133-145. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.02.019
41. Montenegro de Wit, M. (2016). Are we losing diversity? Navigating ecological, political, and epistemic dimensions of agrobiodiversity conservation. *Agriculture and Human Values, 33*(3), 625-640. Doi: https://doi.org/10.1007/s10460-015-9642-7
42. Montenegro de Wit, M. (2019). Beating the bounds: How does 'open source become a seed commons?. *The Journal of Peasant Studies, 46*(1), 44-79. https://doi.org/10.1080/03066150.2017.1383395
43. Nan, M., Lun, Y., Qingwen, M., Keyu, B., & Wenhua, L. (2021). The significance of traditional culture for agricultural biodiversity—Experiences from GIAHS. *Journal of Resources and Ecology, 12*(4), 453-461. http://dx.doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2021.04.003
44. Nicholson, C.F., Kopainsky, B., Stephens, E.C., Parsons, D., Jones, A.D., Garrett, J., & Phillips, E.L., (2020). Conceptual frameworks linking agriculture and food security. *Nature Food, 1*(9), 541-551. Doi: https://doi.org/10.1038/s43016-020-00142-3
45. Olney, D.K., Pedehombga, A., Ruel, M.T., & Dillon, A. (2015). A 2-year integrated agriculture and nutrition and health behavior change communication program targeted women in Burkina Faso to reduce anemia, wasting, and diarrhea in children 3–12.9 months of age at baseline: A cluster-randomized controlled trial. *The Journal of Nutrition, 145*(6), 1317-1324. https://doi.org/10.3945/jn.114.203539
46. Pachapur, P.K., Pachapur, V.L., Brar, S.K., Galvez, R., Le Bihan, Y., & Surampalli, R.Y. (2020). Food security and sustainability. *Sustainability: Fundamentals and Applications*, 357-374. https://doi.org/10.1002/9781119434016.ch17
47. Parfitt, J., Barthel, M., & Macnaughton, S. (2010). Food waste within food supply chains: Quantification and potential for change to 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences, 365*(1554), 3065-3081. https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0126
48. Power, A.G. (2010). Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the*

Royal Society: Biological Sciences, *365*(1554), 2959-2971. https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143

49. Raneri, J.E., Padulosi, S.T.E.F.A.N.O., Meldrum, G.E. N.N.I.F.E.R., & King, O.I. (2019). Promoting neglected and underutilized species to boost nutrition in LMICs. https://doi.org/10.1016/j.jand.2020.02.018
50. Salau, S.A., Yusuf, O.J., Apata, D.F., & Adesina, O.M. (2017). A binary logit estimation of factors influencing awareness about grasscutter farming among rural and sub-urban households in Kwara state, Nigeria. *World*, *5*(6), 299-304. doi:10.12691/wjar-5-6-3
51. Schipanski, M.E., MacDonald, G.K., Rosenzweig, S., Chappell, M.J., Bennett, E.M., Kerr, R.B. & Schnarr, C., (2016). Realizing resilient food systems. *BioScience*, *66*(7), 600-610. https://doi.org/10.1093/biosci/biw052
52. Singleton, G., Labios, R., Min, A., Htwe, N.M., Oo, T.L., Win, S.S., & Kyaw, M.A. (2019). Diversification and intensification of rice-based cropping systems in lower Myanmar (My Rice). Australian Government, Australian Center for International Agricultural Research. http://dx.doi.org/10.12691/wja
53. Speelman, E.N., Groot, J.C., García-Barrios, L.E., Kok, K., van Keulen, H., & Tittonell, P. (2014). From coping to adaptation to economic and institutional change–trajectories of change in land-use management and social organization in a Biosphere Reserve community, Mexico. *Land Use Policy*, *41*, 31-44. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.04.014
54. Stehfest, E., Bouwman, L., Van Vuuren, D.P., Den Elzen, M.G., Eickhout, B., & Kabat, P. (2009). Climate benefits of changing diet. *Climatic Change*, *95*(1), 83-102. https://doi.org/10.1007/s10584-008-9534-6
55. Teklay, A., Dile, Y.T., Setegn, S.G., Demissie, S.S., and Asfaw, D.H., 2019. Evaluation of static and dynamic land use data for watershed hydrologic process simulation: A case study in Gummara watershed, Ethiopia. *Catena*, *172*, 65-75. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.04.014
56. Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T.C., Jackson, L., Matzke, I., Perfecto, I., & Whitbread, A. (2012). Global food security, biodiversity conservation, and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, *151*(1), 53-59. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.068
57. Van der Merwe, J.D., Cloete, P.C., & Van der Hoeven, M. (2016). Promoting food security through indigenous and traditional food crops. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, *40*(8), 830-847. https://doi.org/10.1080/21683565.2016.1159642
58. Vogliano, C., Raneri, J. E., Coad, J., Tutua, S., Wham, C., Lachat, C., & Burlingame, B. (2021). Dietary agrobiodiversity for improved nutrition and health outcomes within a transitioning indigenous Solomon Island food system. *Food Security*, *13*(4), 819-847. http://dx.doi.org/10.1007/s12571-021-01167-7
59. Vogliano, C., Raneri, J.E., Coad, J., Tutua, S., Wham, C., Lachat, C., & Burlingame, B. (2021). Dietary agrobiodiversity for improved nutrition and health outcomes within a transitioning indigenous Solomon Island
60. Wehmeyer, H., de Guia, A.H., & Connor, M. (2020). Reduction of fertilizer use in South China—impacts and implications on smallholder rice farmers. *Sustainability*, *12*(6), 2240. http://dx.doi.org/10.3390/su12062240
61. Wittman, H., Chappell, M.J., Abson, D.J., Kerr, R.B., Blesh, J., Hanspach, J., & Fischer, J. (2017). A social-ecological perspective on harmonizing food security and biodiversity conservation. *Regional Environmental Change*, *17*(5), 1291-1301. https://doi.org/10.1007/s10113-016-1045-9
62. Yu, G., Feng, J., Che, Y., Lin, X., Hu, L., & Yang, S. (2010). The identification and assessment of ecological risks for land consolidation based on the anticipation of ecosystem stabilization: A case study in Hubei province, China. *Land Use Policy*, *27*(2), 293-303. https://doi.org/10.1021/acscatal.5b01835
63. Zimmerer, K.S., de Haan, S., Jones, A.D., Creed-Kanashiro, H., Tello, M., Carrasco, M., & Olivencia, Y.J. (2019). The biodiversity of food and agriculture (Agrobiodiversity) in the Anthropocene: Research advances and conceptual framework. *Anthropocene*, *25*, 100192. https://doi.org/10.1021/acscatal.5b01835

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

Research Article
Vol. 15, No. 3, Fall 2023, p. 607-624

Study of Environmental Sustainability of Tobacco (*Nicotiana tabacum*) Cultivation with Ecological Footprint Approach (Case Study: Flue–Cured Tobacco and Air–Cured in Golestan Province)

Abdol Halim Kor[1], Karim Naderi Mahdei[2*], Karwan Shanazi[1] and Seyed Mohammad Jafar Esfahani[3]

Received: 27-06-2021
Revised: 28-09-2021
Accepted: 24-11-2021
Available Online: 24-11-2021

How to cite this article:
Kor, A.H., Naderi Mahdei, K., Shanazi, K., & Esfahani S. M. J. (2023). Study of environmental sustainability of tobacco cultivation with ecological footprint approach (Case study: flue–cured tobacco and air–cured in Golestan province). *Journal of Agroecology, 15(3), 607-624.*
DOI: 10.22067/agry.2021.71190.1055

Introduction

Today, agricultural systems are considered the center and main axis of all activities related to the development of sustainable agriculture in Iran. Obviously, the more efforts to expand the sustainability of the exploitation systems of the regions, the better the situation will be in terms of reducing energy loss and production costs, increasing performance and conserving resources, and preventing waste. From an ecological point of view, the per capita consumption of energy and materials used in agriculture has increased faster than population growth, so the continuation of this process endangers the health, sustainability, and well-being of society and causes the destruction of ecological resources. For this reason, any exploitation of nature should be done after evaluating the resources and within the capabilities and capacities of the environment. Recognizing the problems and bottlenecks of the specialized tobacco (*Nicotiana tabacum*) cultivation system in Golestan province and formulating appropriate solutions to solve the environmental problems of tobacco cultivation, is of great importance in the sustainable development of this product. Ecological footprint is a valid indicator for assessing the sustainability of agricultural products. This index makes it possible to calculate the amount of pressure that humans exert on the environment to produce crops. Therefore, this study aims to study the environmental impacts of tobacco cultivation due to the importance of environment and sustainable agriculture.

Materials and Methods

In this study, the environmental sustainability of two types of greenhouse tobacco (Virginia) and dry shade (Barley) was evaluated. The statistical population of this research is tobacco growers, Flue-Cured tobacco, and Air-Cured tobacco in Golestan province. The statistical sample size was estimated to be about 160 people using Cochran's formula. The data collection tool was a questionnaire that was randomly distributed and completed among 100 Flue-Cured tobacco farmers and 60 Air-Cured tobacco farmers in 2019. To assess the environmental effects, the ecological footprint index was used. For this purpose, the ecological footprint was calculated based on the type of field operations in two parts: direct and indirect footprint.

Results and Discussion

The results of the study indicated that the total energy consumption for the production of Air-Cured tobacco

1- Ph.D. Student of Agricultural Development, Faculty of Agricultural, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agricultural, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
3- Assistant Professor of Agricultural Planning, Economic, and Rural Development Research Institute (APERDRI), Tehran, Iran.
(*- Corresponding author's Email: knadery@basu.ac.ir)

was 97327 MJ/ha. Electricity, with 44.72%, had the largest share in energy consumption, followed by nitrogen with 16.69% and diesel with 16.61%. The total energy consumed to produce one hectare of Flue-Cured tobacco was 73,184 MJ; electricity has the largest share, followed by diesel. Indirect ecological footprints were calculated for Flue-Cured tobacco and Air-Cured tobacco at 1.16 and 1.54 gha, respectively. In Air-cured tobacco, Electricity with 38.19%, nitrogen fertilizer at 18.67%, and diesel with 18.58% have the greatest impact on ecological footprint. The results show the total ecological footprint (direct and indirect) of Air-Cured tobacco (4.05) and Flue-Cured tobacco (3.67) equivalent to the global hectare (gha). The results of ecological footprint studies in both types of tobacco indicate that the highest environmental impact from crop production is related to electricity input. In the Flue-Cured production process, the electricity consumption is related to the water pump (electric wells) and the greenhouse (fan for ventilation), but in the Air-Cured tobacco, it is only related to the water pump consumption.

Conclusion

Sustainability indicators are a tool that can be used to raise the awareness of tobacco growers about the environmental effects of their actions. According to the results of this study, the use of electricity, water, fertilizer, and diesel inputs has the greatest impact on ecological instability, so proper management of the use of these inputs is a necessity, such as the use of appropriate technologies, fertilizer use according to plant needs. Reducing the intensity of tillage by using appropriate machinery and paying attention to climatic conditions, as well as increasing the awareness of tobacco growers with the help of educational-promotional activities, can be effective in reducing the consumption of inputs and optimal use.

Keywords: Environmental Impacts, Tobacco, Ecological Capacity, Sustainable Agriculture, Energy Evaluation

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۶۲۴-۶۰۷

بررسی پایداری زیست‌محیطی کشت توتون (*Nicotiana tabacum*) با رویکرد ردپای اکولوژیکی (موردمطالعه: توتون گرمخانه‌ای و سایه‌خشک در استان گلستان)

عبدالحلیم کر[۱]، کریم نادری مهدیی[۲*]، کاروان شانازی[۱] و سید محمد جعفر اصفهانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۷/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۳

چکیده

ردپای اکولوژیک شاخصی معتبر برای ارزیابی وضعیت پایداری تولیدات کشاورزی است. این شاخص امکان محاسبه میزان فشاری که انسان برای تولید محصول به طبیعت اعمال می‌کند را فراهم می‌سازد. هدف این پژوهش، ارزیابی وضعیت پایداری زیست‌محیطی کشت توتون‌های گرمخانه‌ای و سایه‌خشک (*Nicotiana tabacum*) با رویکرد ردپای اکولوژیکی است. این پژوهش کاربردی به شیوه پیمایشی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام گرفت. داده‌ها با استفاده از پرسشنامه و مصاحبه حضوری انجام شد و نمونه آماری بر اساس فرمول کوکران ۱۰۰ نفر برای ارقام گرمخانه‌ای و ۶۰ نفر برای ارقام سایه‌خشک برآورد گردید. برای ارزیابی پایداری از شاخص ردپای اکولوژیک استفاده شد. نتایج نشان دادند، وضعیت پایداری کشت بر اساس ردپای اکولوژیکی (مستقیم و غیرمستقیم) در توتون سایه‌خشک ۴/۰۵ و توتون گرمخانه‌ای ۳/۶۷ معادل هکتار جهانی می‌باشد. بنابراین، تولید توتون سایه‌خشک نسبت به توتون گرمخانه‌ای در وضعیت ناپایدارتری قرار دارد. آلایندگی ناشی از مصرف الکتریسیته برای کشت توتون سایه‌خشک با ۳۸/۱۹ درصد و برای کشت توتون گرمخانه‌ای با ۳۸/۸۰ درصد بیشترین تأثیر در شاخص ردپای اکولوژیک داشته است.

واژه‌های کلیدی: اثرات زیست‌محیطی، ارزیابی انرژی، ظرفیت اکولوژیکی، کشاورزی پایدار

مقدمه

در سال‌های اخیر توجه به مسائل زیست‌محیطی افزایش یافته است. با افزایش آگاهی زیست‌محیطی، بخش‌های مختلف اقتصادی به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های خود مشغول شده‌اند. کشاورزی یکی از بخش‌های مهم است که اثرات مهمی بر محیط‌زیست دارد (Nemechek et al., 2008). در طی قرن بیستم تولیدات کشاورزی به نحو چشم‌گیری افزایش یافت، امّا افزایش تولید و استفاده گسترده از نهاده‌ها به انواع مشکلات زیست‌محیطی منجر شده است. منبع اصلی چنین آلاینده مهم، محیط‌زیست کشاورزی است (Brentrup et al., 2004; Vander Werf & Turunen, 2008). هرگونه فعالیت برای ارتقای کیفیت زندگی و توسعه انسانی

۱- دانشجوی دکترای توسعه کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۲- دانشیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۳- استادیار موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی. تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: knadery@basu.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2021.71190.1055

در محیطزیست تحقق می‌یابد. لذا وضعیت محیطزیست و منابع آن از نظر پایداری یا ناپایداری بر فرآیند توسعه تأثیرگذار خواهد بود. در این صورت، نیازمند ابزار و روش‌هایی است تا به‌کمک آن‌ها بتواند حرکت به‌سوی پایداری زیست‌محیطی را ارزیابی نماید (Barimani & Lamfiejani, 2010) ردپای اکولوژیک[1] یکی از روش‌های جدید و مناسب به‌شمار می‌رود.

ردپای اکولوژیکی از شاخص‌هایی است که تأثیرات گوناگون بشر بر کره زمین را با توجه به قوانین ترمودینامیک و مفاهیم اکولوژیک یکپارچه‌سازی می‌کند. بنابراین، به روشی جذاب برای آموزش و برنامه‌ریزی جهت پایداری منابع تولید تبدیل شده و به‌عنوان یک ابزار ارتباطی قوی برای فهم اثرات تغییر رفتار مردم کره خاکی بر پایداری منابع شناخته می‌شود (Holmberg et al., 1999; Kanitschar et al., 2014). شاخص ردپای اکولوژیکی مشخص می‌کند، چه مقدار انرژی و ماده در یک بازه زمانی مشخص مصرف و چه مقدار پسماند جامد، مایع و گاز در طبیعت رهاسازی شده است (Tinsley & George, 2006). واحد ردپای اکولوژیکی هکتار در مقیاس جهانی (gha)[2] است و به گفته ایونگ و همکاران (Ewing et al., 2010) واحد هکتار جهانی، میزان متوسط زمین‌های تولیدگر در کره زمین به لحاظ زیستی به‌ازای هر نفر را مشخص می‌نماید. آنچه در ردپای اکولوژیکی مربوط به کشاورزی بیش از همه مورد توجه است، انرژی مصرفی و تولیدی در این فعالیت می‌باشد که باعث تولید کربن و در نهایت، باعث تأثیر کشاورزی بر محیطزیست می‌شود و به این صورت پایداری نظام‌های کشاورزی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد (Cerutti et al., 2013; Carof et al., 2013). ردپای اکولوژیکی، تأثیر بهره‌برداری از مواد و انرژی را به طریقی با مسائل محیطی پیوند می‌دهد. در این روش، بین محاسبات اجتماعی- اقتصادی مربوط به ذخایر انرژی و مواد با کاربرد زمین و اثرات آن بر جریانات و ذخایر مواد و انرژی در اکوسیستم جهانی ارتباط برقرار شده است (Vuuren & Bouwman, 2005).

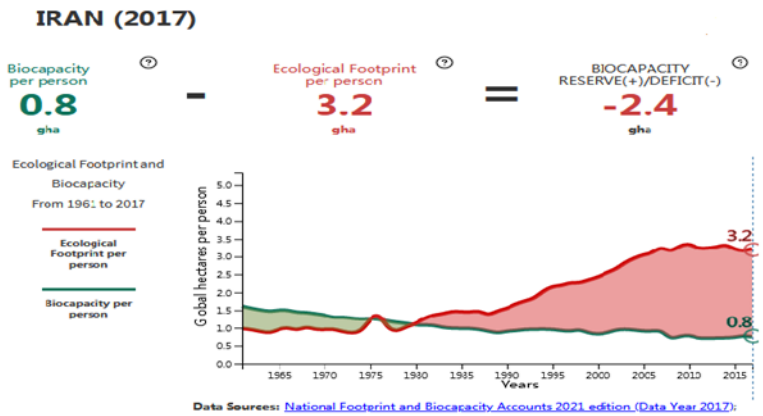
براساس آمارهای جهانی ظرفیت زیستی در ایران از سال ۱۳۳۹ تا به امروز، روند کاهنده اندکی داشته است، امّا مقدار ردپای اکولوژیکی روند فزاینده پرشتابی را دنبال می‌کند، این امر موجب شده که از سال ۱۹۸۰ به بعد، مقدار ردپای اکولوژیک ایران بیش از ظرفیت زیستی شده و کسری اکولوژیک در کشور رخ دهد (Ewing et al., 2010). به گزارش شبکه جهانی ردپا[3]، ردپایاکولوژیک ایران در سال ۲۰۱۷ میلادی ۳/۲ هکتار جهانی به‌ازای هر نفر بوده است و این در حالی است که میزان ظرفیت زیست‌محیطی ایران ۰/۸ هکتار جهانی برآورد شده است، که نشان می‌دهد ۲/۴ برابر به‌ازای هر نفر بیشتر از سرانه منابع موجود در مقیاس هکتار جهانی بوده و بیانگر اعمال فشار بیش از حد بر زیست کره می‌باشد.

شناخت مسائل و تنگناهای نظام کشت تخصصی توتون در استان به‌منظور توسعه پایدار این محصول از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به مضمون و موضوع این پژوهش، پیشینه این تحقیق را باید در مطالعات پایداری نظام‌های زراعی از منظر زیست‌محیطی و سازوکارهای مربوط به استفاده و به‌کارگیری نهاده‌های تولید و تأثیرات متقابل آن بر محیطزیست جستجو نمود. در این خصوص، مطالعات متعددی در داخل و خارج کشور صورت گرفته است.

مطالعه کاربرد ردپای اکولوژیک چند کارکردی در تحلیل پایداری تولید زعفران (*Crocus sativus* L) بیانگر آن بود که میانگین ردپای اکولوژیک غیر مستقیم زعفران ۰/۲۰ هکتار جهانی است که ۰/۷ به انتشار داخل مزرعه و ۰/۱۳ به انتشار خارج مزرعه مربوط می‌شود و شاخص ردپای چند کارکردی نشان داد که شاخص ردپای اکولوژیک بر حسب زمین ۰/۰۱، بر حسب درآمد ۰/۶۳ و بر حسب عملکرد ۰/۰۰۳ هکتار جهانی است و بر اساس نتایج این مطالعه نشان دادند که تولید زعفران در حالت نسبتاً پایدارتری نسبت به سایر محصولات کشاورزی قرار دارد (Esfahani & Khazaee, 2020). بررسی ردپای اکولوژیکی تولیدهای بخش کشاورزی در کشورهای اسلامی گروه D-8 نشان داد که رابطه معنی‌دار بین ردپای اکولوژیکی و تولید ناخالص داخلی سرانه وجود دارد. به‌طوری‌که افزایش نسبی مصرف سرانه انرژی، زمین زراعی و تولیدهای دامی منجر به افزایش ردپای اکولوژیکی می‌گردد. نتیجه اصلی مطالعه گویای آن است که فعالیت های کشاورزی یکی از عامل‌های ایجاد آلودگی‌های محیط زیستی بوده و به‌طور معنی‌داری بر ردپای اکولوژیکی در کشورهای گروه D-8 مؤثر هستند. به‌طوری‌که افزایش نسبی مصرف سرانه انرژی، زمین زراعی و تولیدهای دامی منجر به افزایش ردپای اکولوژیکی می‌گردد (Tarazkar et al., 2019). دکامین و همکاران (Dekamin et al.,

1- Ecological footprint
2- Global hectare approach
3- Global footprint network

(2019 در بررسی اثرات زیست‌محیطی گیاه زراعی سویا (Glycine max L) دریافتند که این اثرات عمدتاً از کودهای شیمیایی، کود دامی، گازوئیل و برق حاصل می‌شود و بهره‌وری استفاده از این نهاده‌ها برای تولید یک تن سویا پائین است. همچنین گزارش کردند که با افزایش تولید به‌ازای نهاده مصرفی می‌توان بار محیط زیستی را کاهش داد. مطالعات خنالی و همکاران (Khanali et al., 2016) با عنوان بررسی تعادل انرژی و ردپای کربن درکشت زعفران حاکی از مصرف بالای کودهای نیتروژن، کود دامی و کودهای فسفاته می‌باشد. به این معنی که نیاز به مدیریت مصرف آن‌ها در اولویت قرار دارد و با توجه به آن (مدیریت مصرف) می‌توان بدون کاهش قابل توجهی در عملکرد زعفران، صرفه‌جویی در انرژی به‌دست آورد.



شکل ۱- ردپای اکولوژیک و ظرفیت زیستی در ایران (۱۳۹۶-۱۳۴۰)

Fig.1- Ecological footprint and biocapacity in Iran (1961-2017)

همچنین نتایج نشان داد، تولید یک هکتار زعفران سبب انتشار ۱۰۸۹۷ کیلوگرم CO_2 می‌شود که میزان بالایی است. فلاح‌پور و همکاران (Fallahpour et al., 2012) با مطالعه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید گندم و جو با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی (LCA[1]) به این نتیجه رسیدند که با افزایش مصرف نیتروژن، اثرات زیست‌محیطی نیز افزایش می‌یابد. خرمی وفا و همکاران(Khoramivafa et al., 2016) نیز در بررسی ردپای اکولوژیک آب در مزارع گندم آبی (*Triticum aestivum*) و ذرت (*Zea mays* L) منطقه کوزران کرمانشاه دریافتند که می‌بایست کشت گیاهان پرمصرفی مانند ذرت دانه‌ای با توجه به شرایط وخیم آبی منطقه متوقف شده، و گیاهان جایگزینی مانند زعفران که نیاز آبی کمتری دارند، در برنامه زراعی کشاورزان منطقه گنجانده شوند. نادری مهدیی و همکاران (Naderi Mahdei et al., 2015) در بررسی ارزیابی اثرات زیست‌محیطی نظام‌های بهره‌برداری‌کشاورزی در استان همدان با استفاده از تحلیل ردپای اکولوژیکی (مورد: گندم آبی) به این نتیجه رسیدند که ردپای اکولوژیکی بر حسب مصرف نهاده‌ها در سیستم کشت مرسوم ۲/۹۶ و در سیستم کشت حفاظتی ۲/۸۴ معادل هکتار جهانی می‌باشد. یافته‌ها نشان داد که ردپای اکولوژیکی بیش از ۷۰ درصد از کشاورزان در سطح اثرات ناپایداری زیاد و بقیه در سطح ناپایداری کم قرار دارند. همچنین رضایی و همکاران (Rezaei et al., 2019) در مطالعه دیگر با عنوان ارزیابی پایداری زیست‌محیطی نظام زراعی با استفاده از تحلیل ردپای اکولوژیک در کشت سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L) و خیار (*Cucumis sativus* L) در دهستان سفالگران شهرستان بهار نشان دادند که هر دو کشت در وضعیت ناپایدار قرار دارند و تفاوت معنی‌داری بین نمره کل ردپای اکولوژیکی بر حسب هکتار جهانی در کشت سیب‌زمینی (۴/۰۳) و کشت خیار (۳/۲۳) وجود دارد. به‌طوری که کشت خیار از ناپایداری زیست‌محیطی کمتری برخودار است.

پاسری و همکاران به بررسی روش‌های زراعی مختلف بر میزان ردپای اکولوژیکی ناشی از تولید محصولات زراعی پرداختند. نتایج بیانگر این بود که میزان مصرف نهاده‌ها درسیستم زراعی مرسوم حدود ۲۸ درصد بیشتر از سیستم زراعی حفاظتی است و در نتیجه، سیستم مرسوم نسبت به سیستم حفاظتی ناپایدارتر است (Passeri et al., 2013). بررسی اثرات زیست‌محیطی محصولات عمده زراعی

1- Life Cycle Assessment

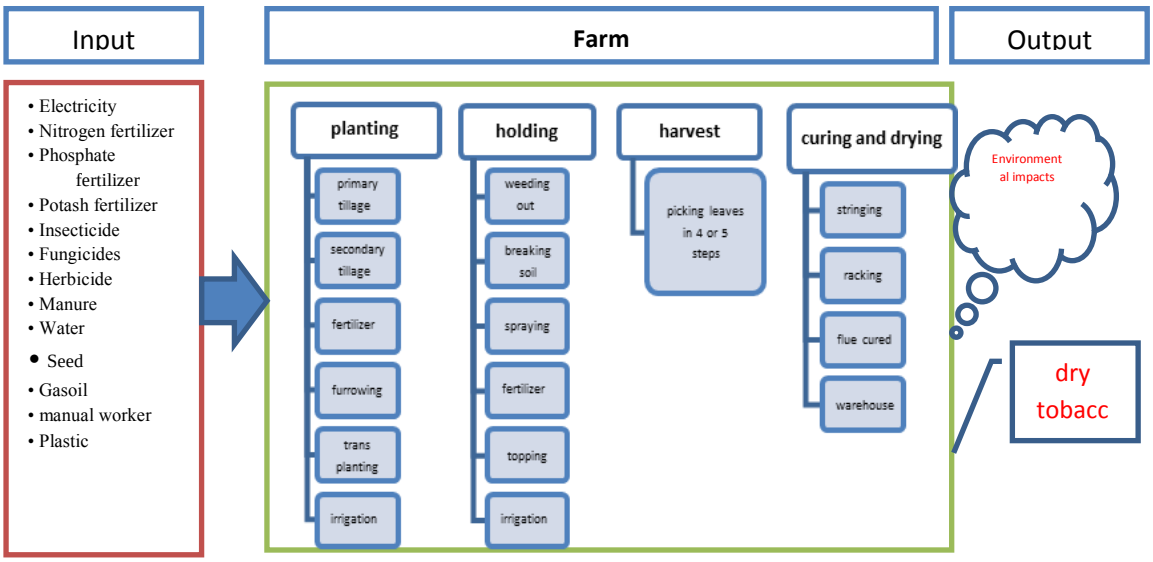
استان خراسان رضوی مؤید آن بود که به‌منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولیدی از مدیریت پایدار حاصلخیزی خاک، جایگزینی نهاده‌های شیمیایی، افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها، کاهش خاک‌ورزی، انتخاب گیاهان با هزینه‌های زیست‌محیطی کمتر و تناوب زراعی استفاده نمود (Koocheki et al., 2018).

تحقیقات سهل و پوتینگ (Sahle & Potting, 2013) در بررسی کشت گلخانه‌ای گل رز (*Rosa damascena*) در اتیوپی بیانگر استفاده شدید از کود، سموم دفع آفات و پلاستیک بود و بزرگ ترین سهم اثرات زیست‌محیطی مربوط به کودهای نیتروژنه بوده است. دیاس و همکاران (Dias et al., 2017) نیز اثرات زیست‌محیطی تولید گوجه‌فرنگی (*Lycopersicum* esculentum) گلخانه‌ای را در کانادا مورد بررسی قرار دادند و طی آن عنوان کرده‌اند که سوخت مورد استفاده برای گرمایش گلخانه‌ها بین ۵۰ تا ۸۵ درصد مهم‌ترین عامل آسیب زیست‌محیطی در چرخه زندگی تولید گوجه‌فرنگی است. همچنین فرآیند تولید مقوا برای بسته‌بندی گوجه‌فرنگی، به‌عنوان دومین عامل تأثیرگذار شناخته شده است.

امروزه نظام‌های بهره‌برداری زراعی به‌عنوان کانون و محور اصلی کلیه فعالیت‌های مربوط به توسعه کشاورزی پایدار در ایران مطرح است. بدیهی است، هر چه در جهت گسترش پایداری نظام‌های بهره‌برداری مناطق تلاش شود، وضعیت مطلوب‌تری از نظر کاهش میزان اتلاف انرژی، هزینه‌های تولید، افزایش عملکرد و حفظ منابع و جلوگیری از ضایعات خواهد داشت (Sharifzade & Kor, 2012).

استان گلستان مستعد کشت انواع محصولات زراعی و باغی است و انواع فعالیت‌های زراعی در آن انجام می‌شود که این حجم گسترده فعالیت‌های کشاورزی با ایجاد ناپایداری در نظام‌های کشاورزی و طبیعی از جمله تخریب محیط‌زیست و منابع طبیعی، آلودگی منابع آب و خاک، شور شدن اراضی، کاهش سفره آب زیرزمینی و سرانجام ناپایداری بوم نظام‌های کشاورزی همراه است (Shah-Moridi, 2016). این استان یکی از مناطق اصلی به‌لحاظ کشت توتون (*Nicotiana tabacum*)می‌باشد، محصول توتون کشور در مجموع، نه هزار تن است که عمدتاً در پنج استان کشور تولید می‌شود و استان گلستان با تولید ۴۵ درصد از توتون کشور در بین پنج استان مقام اول را دارد. (Ministry of Industry, Mine & Trade, 2015).

بنابراین، نقش مهمی در تأمین توتون مورد نیاز کارخانجات فرآوری و دیگر واحدهای صنعتی شرکت دخانیات در کشور دارد. عمده محصول توتون در این استان بارلی و ویرجینیا است، ارقام ویرجینیا از نوع توتون‌های گرمخانه‌ای می‌باشد، به‌طوری‌که عمل‌آوری و خشکانیدن برگ‌های استحصالی در محیط گرمخانه صورت می‌گیرد، این نوع توتون از نظر بافت قوی‌تر و نیکوتین کمتر، ولی قند بیشتری دارد، امّا ارقام بارلی از نوع توتون سایه‌خشک است و برگ‌ها در انبار یا در محیط سایه عمل‌آوری و خشک می‌شوند، این نوع توتون از نظر بافت نسبت به ارقام ویرجینیا ضعیف‌تر و نیکوتین بالاتری دارد و همچنین قند آن به‌نسبت پائین‌تر است.



شکل ۲- چارچوب و فرایند تولید توتون در محیط‌زیست کشاورزی

Fig. 2-Tobacco production process in agricultural environment

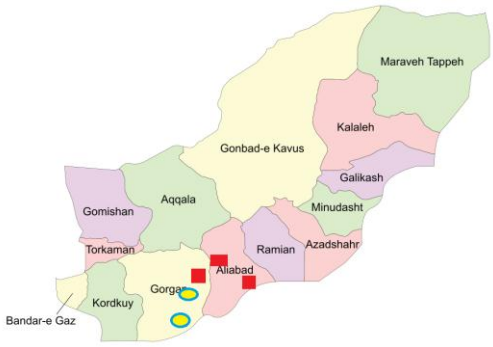
چالش‌های مهمی در ارتباط با حفاظت از محیط‌زیست در استان گلستان وجود دارد و با توجه به بررسی‌ها هنوز در رابطه با اثرات

زیست‌محیطی کشت توتون در سطح استان و کشور مطالعه‌ای انجام نشده است. به‌لحاظ زیست‌محیطی تولید پایدار توتون مستلزم بررسی و مطالعه تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی، سموم، گازوئیل، برق و غیره می‌باشد. بنابراین، بررسی وضعیت منابع طبیعی، آب و خاک و مصرف نهاده‌ها با استفاده از شاخص‌های پایداری می‌تواند در شناخت و تدوین راهکارهای مناسب در رفع مسائل و مشکلات زیست‌محیطی کشت این محصول و همچنین مدیریت آینده کشت مؤثر باشد. بنابراین، مطالعه اثرات زیست‌محیطی کشت توتون به‌جهت اهمیت محیط‌زیست کشاورزی و تولید پایدار هدف این مطالعه است و تحقیق حاضر نیز بر اساس درک این واقعیت و ضرورت کسب شناخت روشمند درباره پایداری زیست‌محیطی نظام کشت تخصصی توتون، در استان گلستان به‌عنوان اصلی‌ترین مرکز کشت توتون در کشور به انجام رسیده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی این تحقیق مناطق کشت توتون در استان گلستان می‌باشد. استان گلستان از نظر اقلیمی برای تولید طیف بالایی از انواع گیاهان زراعی و صنعتی از قبیل توتون مناسب است و در شمال ایران قرار دارد و با ۲۰۴۶۰/۷ کیلومترمربع وسعت، ۱/۳۳ درصد از کل مساحت کشور را به خود اختصاص داده است. این استان از شمال به جمهوری ترکمنستان، از شرق به استان خراسان، از جنوب به استان سمنان و از غرب به استان مازندران و دریای خزر محدود است. و با توجه به موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی خاص خود از ارتفاع ۲۷- متر تا ۳۷۵۰ متر، دارای تنوع آب و هوایی و پوشش گیاهی گسترده‌ای می‌باشد در قلل مرتفع کوه‌ها آب و هوای معتدل و سرد کوهستانی، در کوهپایه‌ها و قسمت مرکزی آب و هوای معتدل مرطوب وجود داشته که در نیمه شمالی استان به آب و هوای معتدل نیمه خشک تبدیل می‌گردد. ارقام توتون گرمخانه‌ای و سایه‌خشک در قسمت‌های مرکزی و کوهپایه‌ای که آب و هوای معتدل و مرطوب دارد کشت می شود. بر اساس آمار اداره کل دخانیات استان گلستان عمده ترین مناطق کشت توتون‌های گرمخانه‌ای و سایه‌خشک دراستان گلستان روستاهای پیچک محله، برفتان و الازمن از حوزه شهرستان علی آباد و روستاهای والش آباد و جعفر آباد نوده و تقر تپه از حوزه شهرستان گرگان است (شکل ۳).



مناطق کشت توتون گرمخانه‌ای مناطق کشت توتون سایه خشک

شکل ۳- منطقه مورد مطالعه

Fig. 3- The study area

روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و مبتنی بر روش توصیفی و تحلیلی با راهبرد پیمایشی است. در این تحقیق، پایداری زیست‌محیطی دو نوع توتون گرمخانه‌ای (ویرجینیا) و سایه‌خشک (بارلی) مورد ارزیابی قرار گرفت. جامعه آماری این تحقیق توتون‌کاران گرمخانه‌ای و سایه‌خشک استان گلستان است. حجم نمونه آماری نیز با استفاده از فرمول کوکران (معادله ۱) جمعاً در حدود ۱۶۰ نفر برآورد گردید. ابزار جمع‌آوری اطلاعات پرسشنامه بود که به‌صورت تصادفی در سال زراعی ۹۷–۱۳۹۶ بین ۱۰۰ نفر از توتون‌کاران ارقام گرمخانه‌ای و ۶۰ نفر از توتون‌کاران ارقام سایه‌خشک توزیع و تکمیل گردید. محتوای سؤالات پرسشنامه مشتمل بر میزان نهاده‌های مصرفی از قبیل سم، کود، آب، سوخت، پلاستیک، برق، ماشین‌آلات،

بذر و نیروی کار بود. به‌منظور تعیین روایی پرسشنامه از پانل محققین مرکز تحقیقات و آموزش توتون تیرتاش و کارشناسان کشاورزی ادارات کشت دخانیات بهره گرفته شد و از روش پیش آزمون و پس آزمون برای تأیید پایایی استفاده گردید. برای ارزیابی پایداری بر اساس مصرف انرژی، از شاخص‌های ارزیابی زیست‌محیطی استفاده شد و معیار مقایسه، هکتار جهانی حاصل از برآورد مدل ردپا اکولوژیکی در دو نوع توتون گرمخانه‌ای و سایه‌خشک بود.

معادله (۱)

$$n = \frac{Nt^2 s^2}{Nd^2 + t^2 s^2}$$

که در آن، n: حجم نمونه، N: حجم جامعه (۹۳۱ نفر توتون‌کار گرمخانه‌ای و ۱۴۴ نفر توتون کار سایه‌خشک)، t: ضریب اطمینان قابل قبول (۱/۹۶)، d: دقت احتمالی مطلوب (۰/۱) و s: پیش برآورد واریانس متغیر (کود مورد استفاده برای هردو محصول به‌ترتیب (۰/۳ و ۰/۲۶)) می‌باشند.

محاسبه شاخص ردپا

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های روش معمول محاسبه ردپا در نظر نگرفتن نوع عملیات زراعی است که بر همین اساس دانشمندان سعی کرده‌اند، جهت جبران این نقیصه، اصلاحاتی در نوع محاسبه ردپا انجام دهند (Passeri et al., 2013). به‌منظور محاسبه ردپای اکولوژیک بر اساس نوع عملیات زراعی در مزرعه، باید ردپای اکولوژیک را به دو بخش ردپای مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی کرد (Huijbregts et al., 2008). ردپای مستقیم در طول زمان به وسیله مساحت ساختمان، زمین‌های زراعی، مراتع و جنگل که مستقیماً در جریان تولید محصول به‌کار می‌روند، تعریف می‌شود و ردپای غیرمستقیم، نشان‌دهنده میزان زمین بهره‌ور لازم، جهت جذب CO_2 تولید شده طی فرآیند تولید است. با توجه به این مفهوم، ردپای اکولوژیک می‌تواند به مجموع زمین واقعی و مجازی مورد نیاز برای تولید محصول تعریف شود و به‌صورت معادله ۲ بیان می‌شود (Cerutti et al., 2013).

معادله (۲)

$$EF = EF_{direct} + EFCo_2$$

که در آن، EF_{direct}: نشان‌دهنده زمین تصرف شده در طول زمان به‌وسیله مزارع کشاورزی، ساختمان، مراتع و جنگل برای تولید محصول است که با استفاده از معادله ۳ محاسبه می‌شود (Guzman et al., 2013).

معادله (۳)

$$EF_{direct} = \sum_{\alpha} A_{\alpha}.EQF_{\alpha}$$

میزان زمین تصرف شده نوع=(زراعی،جنگلی، مرتع، ساختمان) A=

که در آن، EQF: عامل (فاکتور) معادل‌سازی متناظر با هر نوع زمین است.

مقدار EQF برای انواع مختلف اراضی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ضرایب معادل مربوط به انواع مختلف کاربری اراضی

Table 1- Equivalence factor for different land uses

نوع کاربری زمین Type of land use	ضریب معادل (هکتار/ هکتار جهانی) Equivalence factor (Gha.ha^{-1})
زمین‌های زراعی Croplands	2.51
مراتع Rangelands	0.46
جنگل Forests	1.26
دریا تولیدی Fishery ground	0.37
زمین ساخته‌شده Built up lands	2.51

(González-Vallejo et al., 2015)

معادله ردپای غیرمستقیم:

$$EF_{CO2} = \frac{\Sigma_i\, cm_i \,.\, Ese_{mi}}{EP} \times ef$$

معادله (۴)

که در آن، Cm: میزان مصرف هرکدام از نهاده‌ها (کیلوگرم)، Ese: انرژی نهفته هرکدام از مواد (مگاژول بر کیلوگرم)، Ep: بهره

وری انرژی (مگاژول بر هکتار بر سال) و ef: فاکتور معادل ساز جنگل (هکتار جهانی بر هکتار) می‌باشند.

بهره‌وری انرژی نسبت جذب آلاینده‌های تولید شده به‌ازای یک مگاژول تولید انرژی به‌میزان انتشار کربن به‌ازای مقدار انرژی تولید شده توسط هرکدام از منابع انرژی می‌باشد و توسط معادله ۵ محاسبه می‌شود.

$$EP = \frac{A}{E}$$ معادله (۵)

معمولاً در مطالعات در مورد مواد اولیه از بهره‌وری انرژی نفت استفاده می‌شود (Guzman et al., 2013). در مورد برق نیز با توجه به اینکه بخش قابل توجه سوخت نیروگاه‌های کشور توسط گاز طبیعی تأمین می‌شود، از بهره‌وری انرژی گاز طبیعی استفاده شده است. میزان عامل انتشار و بهره‌وری انرژی برای انواع سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای در جدول ۲ نشان داده شده است (Acosta Bono et al., 2001).

جدول ۲- عامل‌های انتشار (E) و بهره‌وری انرژی (EP)

Table 2- Emission factor(E) and Energy Productivity(EP)

منابع انرژی Energy sources	E (kg Coal.GJ^{-1})	EP (GJ.ha^{-1}.year^{-1})
زغال سنگ Coal	26	55
نفت Oil	20	71
گاز طبیعی Natural gas	30.15	93
هسته‌ای Nuclear	20	71

برای مشخص کردن انرژی استفاده شده، عامل‌های معادل‌ساز ویژه‌ای وجود دارد (Ozkan et al., 2004; Canakci & Akinci, 2006; Zangeneh et al., 2010). با استفاده از آن‌ها میزان انرژی حاصل از تأثیر هر یک از عامل‌های اثرگذار بر محیط‌زیست، بر حسب هکتار جهانی برآورد می‌گردد. جدول ۳ متغیرها، مقیاس اندازه‌گیری و عامل‌های معادل‌ساز مورد استفاده در این تحقیق برای ارزیابی ردپای اکولوژیکی را نشان می‌دهد، که بر اساس آن انرژی مصرفی هر یک از نهاده‌ها بر حسب واحد مورد استفاده (کیلوگرم، لیتر و...)، در کشت دو رقم توتون مشخص می‌گردد. نهاده‌هایی که در جدول ۳ آورده شده است، در هر دو رقم کشت توتون مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نتایج و بحث

برآورد انرژی‌های مصرفی در کشت توتون

با توجه به محاسبات انجام شده، انرژی‌های مصرفی در فرآیند تولید توتون سایه‌خشک طی یک سال زراعی در منطقه مورد مطالعه در جدول ۴ آمده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که انرژی مربوط به مصرف برق با ۴۴/۷۲ درصد در رتبه اول و نیتروژن با ۱۶/۶۹ درصد در رتبه دوم و گازوئیل با ۱۶/۶۱ درصد انرژی در رتبه سوم قرار دارد و از کل انرژی ورودی (۹۷۳۲۷/۷۵ مگاژول)، ۷۰۵۲۹/۸۲ مگاژول آن را (۷۲/۴۴ درصد) انرژی‌های مستقیم (نیروی‌کار، گازوئیل، آب و برق) و ۲۶۹۷۹/۹۳ مگاژول آن را (حدود ۲۷/۵۶ درصد)را انرژی‌های غیر مستقیم (کودها، بذر، سم، پلاستیک و ماشین‌آلات) تشکیل می‌دهند.

یافته‌های جدول ۵ مربوط به انرژی مصرفی در فرایند تولید توتون گرمخانه‌ای طی یک سال زراعی را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که انرژی حاصل از مصرف برق با بیش از ۴۵/۳۶ درصد عمده‌ترین نهاده مورد استفاده توسط توتون‌کاران در رتبه اول بوده و بترتیب گازوئیل با ۲۰/۵۵ درصد در رتبه دوم، آب مصرفی با ۸/۶۸ درصد انرژی در رتبه سوم قرار دارد و از کل انرژی ورودی (۷۳۱۸۴/۴۷ مگاژول)، ۵۷۵۲۳/۲۶ مگاژول آن (حدود ۷۸/۶ درصد) را انرژی‌های مستقیم (نیروی کار، گازوئیل، آب و برق) و ۱۵۶۶۱/۲۱ مگاژول آن (حدود ۲۱/۴ درصد) را انرژی‌های غیر مستقیم (کودها، بذر، سم، پلاستیک و ماشین‌آلات) تشکیل می‌دهد.

جدول ۳- معادل انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها
Table 3- Energy equivalent of inputs and outputs

ورودی‌ها Inputs	ورودی‌ها و خروجی‌ها Inputs and Outputs	واحد Unit	معادل انرژی (MJ) Energy equivalent (MJ)	منبع References
	نیروی انسانی Human labor	Hour	1.96	(Khanali et al., 2021; Nabavi-Pelesaraei et al., 2021; Zangeneh et al., 2010)
	مرد Man	Hour	1.57	
	زن Woman			
	بذر Seed	kg	25	(Baran & Gokdogan, 2015)
	ماشین‌آلات Machinary	Hour	62.7	(Çebi et al., 2019)
	کود نیتروژن N-fertilizer	kg	66.14	(Khanali et al., 2021; Yuan et al., 2018; Nabavi-Pelesaraei et al., 2021)
	کود فسفر P-fertilizer	kg	12.44	(Khanali et al., 2021; Zangeneh et al., 2010; Nabavi-Pelesaraei et al., 2021)
	کود پتاس K-fertilizer	kg	11.15	(Khanali et al., 2021; Nabavi-Pelesaraei et al., 2021)
	گازوئیل Diesel	Liter	56.31	(Yuan et al., 2018; Nabavi-Pelesaraei et al., 2021)
	برق Electricity	kwh	11.93	(Khanali et al., 2021; Nabavi-Pelesaraei et al., 2021; Yuan et al., 2018)
	آب Water	Cubic meters	1.02	(Nabavi-Pelesaraei et al., 2017; Yuan et al., 2018)
	علف‌کش Herbicide	kg	238	(Zangeneh et al., 2010; Yuan et al., 2018)
	حشره‌کش Insecticide	kg	101.2	(Naderi et al., 2019; Yuan et al., 2018)
	قارچ‌کش Fungicides	kg	216	(Zangeneh et al., 2010; Naderi et al., 2019; Yuan et al., 2018)
	پلاستیک Plastic	kg	90	(Heidari & Omid, 2011; Shamsabadi et al., 2017)
خروجی‌ها (عملکرد)	توتون گرمخانه‌ای Flue-cured tobacco	kg	0.8	(Ozkan et al., 2004; Loghmanpour-zarini & Abedi-firouzjaee, 2013)
Output (Yield)	توتون سایه‌خشک Air-cured tobacco	kg	0.8	(Ozkan et al., 2004; Loghmanpour-zarini & Abedi-Firouzjaee, 2013)

ارزیابی ردپای اکولوژیک کشت توتون سایه‌خشک

نتایج ردپای اکولوژیکی بر حسب مصرف نهاده‌ها برای کشت توتون سایه‌خشک به‌صورت جدول ۶ می‌باشد.

ردپای اکولوژیکی غیر مستقیم کشت توتون سایه‌خشک معادل ۱/۵۴ هکتار جهانی محاسبه شد (جدول ۶). برق ۳۸/۱۹ درصد کود نیتروژن با ۱۸/۶۷ درصد (گازوئیل) با ۱۸/۵۸ درصد بیشترین تأثیر را بر ردپای اکولوژیکی دارند. ردپای اکولوژیک تولید یک هکتار توتون سایه‌خشک معادل ۴/۰۵ هکتار جهانی محاسبه شد. با توجه به مقدار ردپای غیر مستقیم کشت ارقام سایه‌خشک ۱/۵۴ هکتار زمین بهره‌ور زیستی لازم دارد تا شرایط ناپایداری زیست‌محیطی این محصول

مرتفع شود.

جدول ٤- میزان مصرف نهاده‌ها و انرژی معادل در کشت توتون سایه

Table 4- Inputs consumption and Energy equivalent in air-cured tobacco cultivation

فاکتورها	واحد Unit	میان Value	انرژی (MJ)[1] Energy(MJ)	درصد Percent	رتبه Rank
بذر Seed	kg	0.15	3.75	0.0038	14
مرد Man	ساعت hour	722.96	1417	1.45	10
زن Woman	ساعت hour	1126.88	1769.2	1.81	9
ماشین‌آلات Machinary	ساعت hour	38.28	2399.52	2.46	6
کود نیتروژن N-fertilizer	kg	245.7	16250.59	16.69	2
کود فسفر P-fertilizer	kg	157	1953.08	2.01	7
کود پتاس K-fertilizer	kg	217	2419.59	2.48	5
علف‌کش Herbicide	kg	3.06	728.28	0.74	11
قارچ‌کش Fungicides	kg	3.35	723.6	0.74	12
حشره‌کش Secticide	kg	3.64	368.36	0.37	13
گازوئیل Diesel	l	287.1	16166.4	16.61	3
برق Electricity	kwh	3648.82	43530.42	44.72	1
آب Water	m^3	7496.66	7646.6	7.85	4
پلاستیک Plastic	kg	21.68	1951.2	2.00	8
جمع Total			97327.75	100	

1- Energy(Megajoule)

جدول ۵- میزان مصرف نهاده ها و انرژی معادل در کشت توتون گرمخانه‌ای
Table 5- Inputs consumption and Energy equivalent in flue-cured tobacco cultivation

متغیر	واحد Unit	میزان Value	انرژی (MJ) Energy(MJ)	درصد Percent	رتبه Rank
بذر Seed	kg	0.15	3.75	0.005	14
نیروی انسانی- مرد Human labor-man	hour	663.36	1241.38	1.69	10
نیروی انسانی- زن Human labor-woman	hour	1071.28	1681.9	2.29	8
ماشین‌آلات Machinary	hour	35.6	2232.12	3.04	6
کود نیتروژن N-fertilizer	kg	93	6151.02	8.40	4
کود فسفر P-fertilizer	kg	137	1704.28	2.32	7
کود پتاس K-fertilizer	kg	202	2252.3	3.07	5
قارچ‌کش Fungicides	kg	4.11	887.76	1.21	11
حشره‌کش Secticide	kg	2.82	285.38	0.38	13
علف‌کش Herbicide	kg	2.9	690.2	0.942	12
گازوئیل Diesel	l	267	15044.77	20.55	2
برق Electricity	kWh	2783	33201.19	45.36	1
آب Water	m^3	6229.44	6354.02	8.68	3
پلاستیک Plastic	kg	16.16	1454.4	1.98	9
جمع Total			73184.47	100	

ارزیابی ردپای اکولوژیک کشت توتون گرمخانه‌ای

ارزیابی ردپای اکولوژیکی بر حسب مصرف نهاده‌ها برای کشت توتون گرمخانه‌ای به‌صورت جدول ۷ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج مطالعه کل انرژی مصرفی برای تولید یک هکتار توتون گرمخانه‌ای ۷۳۱۸۴ مگاژول بود که برق و سوخت گازوئیل بیشترین سهم را داشتند. همچنین تحلیل انرژی نشان داد که برق با ۳۸/۸۰ درصد، سوخت گازوئیل با ۲۳/۰۳ درصد و آب با ۹/۷۳ درصد انرژی بیشترین تأثیر را بر ردپای اکولوژیکی داشته‌اند. در این مطالعه، ردپای اکولوژیکی غیرمستقیم کشت توتون گرمخانه‌ای معادل ۱/۱۶ هکتار جهانی به‌دست آمد و ردپای اکولوژیکی کل (مجموع ردپای مستقیم و غیر مستقیم) در این کشت برابر با ۳/۶۷ معادل هکتار جهانی ارزیابی گردید.

نتایج حاصل از بررسی ردپای اکولوژیکی توتون گرمخانه‌ای و سایه‌خشک نشان می‌دهد که کشت هر دو نوع توتون از نظر زیست‌محیطی در وضعیت ناپایداری قرار دارد و رقم توتون سایه‌خشک نسبت به توتون گرمخانه‌ای ناپایدارتر است.

جدول ٦- ردپای اکولوژیک غیرمستقیم و انرژی مصرفی در کشت یک هکتار توتون سایه‌خشک

Table 6- Indirect ecological footprintand energy consumption in cultivating one hectare of air-cured tobacco

نهاده Input	انرژی Energy (Mj)	ردپا اکولوژیک EF (gha)	درصد Percent
بذر Seed	3.75	0.00	0.00
نیروی کار Human labor	3186.2	0.06	3.66
ماشین‌آلات Machinary	2399.52	0.04	2.76
کود نیتروژن N-fertilizer	16250.59	0.29	18.67
کود فسفر P-fertilizer	1953.08	0.03	2.24
کود پتاس K-fertilizer	2419.55	0.04	2.78
سموم شیمیایی Chemical pesticides	1820.26	0.03	2.09
گازوئیل Diesel	16166.6	0.29	18.58
برق Electricity	43530.42	0.59	38.19
آب Water	7646.6	0.14	8.79
پلاستیک Plastic	1951.2	0.03	2.24
جمع Total	97327.75	1.54	100

جدول ۷- ردپای اکولوژیک غیرستقیم و مصرف انرژی کشت یک هکتار توتون گرمخانه‌ای
Table 7- Indirect ecological footprint and energy consumption in cultivating hectare of flue-cured

نهاده Input	انرژی Energy (Mj)	ردپا EF (gha)	درصد Percent
بذر Seed	3.75	0.00	0.00
نیروی کار Human labor	2329.28	0.05	4.47
ماشین‌آلات Machinary	2232.12	0.04	3.42
کود نیتروژن N-fertilizer	6151.02	0.11	9.42
کود فسفر P-fertilizer	1704.28	0.03	2.61
کود پتاس K-fertilizer	2252.30	0.04	3.45
سموم شیمیایی Chemical pesticides	1863.34	0.03	2.85
گازوئیل Diesel	15044.77	0.27	23.03
برق Electricity	33201.19	0.45	38.80
آب Water	6354.02	0.11	9.73
پلاستیک Plastic	1454.40	0.03	2.23
جمع Total	73184.47	1.16	100

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آماده از مطالعه ردپای اکولوژیک کشت توتون در استان گلستان نشان می‌دهد که هر دو نوع توتون کشت شده از نظر زیست‌محیطی در وضعیت ناپایداری قرار دارد و تأکیدی بر ضرورت مدیریت زراعی و استفاده مناسب و مطلوب از نهاده‌های تولید با ملاحظات زیست‌محیطی است. بدیهی است، توجه به محیطزیست از ضرورت‌های مهم در پایداری کشت توتون می‌باشد. بی توجهی به این موضع علاوه‌بر ایجاد مخاطرات جبران‌ناپذیر، موجودیت کشت را به مخاطره خواهد انداخت که می‌تواند پیامدهای متفاوتی را در ابعاد اجتماعی و اقتصادی داشته باشد، از جمله این موارد می‌توان به مخاطرات مربوط به بهداشت و سلامت، از بین رفتن اشتغال و امنیت اقتصادی توتون‌کاران، وابستگی تأمین مواد اولیه دخانی به خارج و خروج ارز و سرمایه اشاره داشت. بنابراین، برای تولید پایدار محصول توتون در استان توجه مدیران و متولیان اجرایی شرکت دخانیات به ملاحظات زیست‌محیطی به‌عنوان یک ضرورت، مهم است و این مطالعه اهمیت این موضع را مور تأکید قرار می‌دهد و با تحلیل عوامل مختلف تولید توتون و بررسی تأثیرات آن بر محیطزیست مسیر روشن و مشخصی را در مدیریت کشت توتون در استان برای دست‌اندرکاران و متولیات اجرای این حوزه قرار می‌دهد.

بر اساس نتایج به‌دست آمده در جدول‌های ۶ و ۷، بیشترین مصرف نهاده در ارقام گرمخانه‌ای و سایه‌خشک مربوط به نهاده‌های (برق، گازوئیل، کود شیمیایی و آب) است. نتایج مطالعات ردپای اکولوژیک در هر دو نوع توتون حاکی از آن است که بیشترین ناپایداری حاصل از تولید محصول در درجه اول مربوط به نهاده برق می‌باشد. در فرایند تولید توتون، مصرف برق در رقم گرمخانه‌ای مربوط به پمپ آب (چاه‌ها برقی) و گرمخانه (فن برای تهویه) است، ولی در توتون سایه‌خشک صرفاً مربوط به مصرف پمپ آب منتهی می شود و به‌ترتیب ۳۸/۸۰ و ۳۸/۱۹ درصد از کل ردپای اکولوژیکی غیر

مستقیم را دارد. مقایسه مصرف این نهاده در هر نوع توتون نشان می دهد که بالا بودن مصرف انرژی الکتریکی (برق) مربوط به چاه‌های آب است.

و در توتون سایه‌خشک محسوس‌تر است، زیرا مصرف برق در این توتون صرفاً در مراحل آبیاری است و به تنهایی رقم ۳۸/۱۹ درصد از کل ردپای اکولوژیکی غیر مستقیم را به خود اختصاص داده است، ولی در کلیت مصرف برق در هر دو رقم بسیار بالا است که نشان‌دهنده مصرف بی‌رویه آب و انرژی است. مرسوم بودن شیوه سنتی آبیاری (غرقابی)، وجود عرف آبیاری و اشتراکی بودن چاه‌ها در مناطق(دور آبیاری) مثلاً کشاورز هر ۱۵ روز نوبت آب که برسد حتماً صرف نظر از نیاز آبی توتون مبادرت به آبیاری می‌کند، وجود تصور ذهنی نامناسب که افزایش آبیاری باعث افزایش عملکرد می‌شود، نبود تجهیزات و امکانات مناسب، عدم آگاهی و آشنایی توتون‌کاران با شیوه‌های صحیح آبیاری مانند آبیاری بارانی یا قطره‌ای از جمله موضوعاتی است که استفاده نامناسب از منابع آبی را منجر شده است. به‌طوری‌که در هر دو نوع توتون مقدار قابل ملاحظه‌ای (۹/۷۳ درصد در ارقام گرمخانه‌ای و ۸/۷۹ درصد در ارقام سایه‌خشک) را نشان می دهد. که با مطالعه (خرمی رفاه و همکاران، ۱۳۹۵) هم‌خوانی دارد. همچنین ردپای اکولوژیکی حاصل از مصرف کود نیتروژنه در این مطالعه به‌ترتیب مقدار ۹/۴۲ و۱۸/۶۷درصد برای توتون گرمخانه‌ای و سایه‌خشک نشان داده است. در ارقام سایه‌خشک علاوه‌بر کود پایه کودهای نیتروژن به‌صورت سرک در ایام داشت مصرف می‌شود و میزان استفاده از کود در این رقم نسبت به رقم گرمخانه‌ای بیشتر است، ولی به نظر می‌رسد، این میزان مصرف با توجه به نتایج به‌دست آمده از این بررسی بالاتر از مصرف مطلوب است که با تحقیقات(Fallahpour et al., 2012; Sahle & Potting, 2013; Khanali et al., 2016) مطابقت دارد. با توجه به مشاهدات چگونگی مصرف کودهای شیمیایی در منطقه بیشتر به‌صورت عرفی بوده، مبنای علمی ندارد و از حد معمول زیادتر است، به‌طوری‌که توتون‌کاران منطقه بر اساس آزمایشات خاک مصرف کود را مشخص نمی‌کنند و معمولاً با این تصور که افزایش مصرف کود باعث افزایش محصول می‌شود، مصرف کود در منطقه از حد استاندارد بیشتر است و گاهی توتون‌کاران با تهیه کود به‌صورت آزاد مبادرت به کودپاشی زمین‌های خود می‌کنند. مصرف گازوئیل بر اساس نتایج این بررسی با دارا بودن ۲۳/۳۰ درصد در توتون گرمخانه‌ای و ۱۸/۵۸ درصد در توتون سایه‌خشک تأثیر نسبتاً زیادی در ردپای اکولوژیک غیرمستقیم کشت این محصول داشته است که با مطالعات (Dias et al., 2017) هم‌خوانی دارد. لذا مصرف قابل ملاحظه انرژی ناشی از استفاده از گازوئیل را در دو نوع توتون مورد مطالعه، در شیوه آماده‌سازی زمین و نبود ادوات مناسب دانست. عدم وجود ادوات مناسب با توجه به نوع خاک و زمان آماده‌سازی زمین که گاهاً با بارندگی‌های فصلی مواجه است و همچنین وجود خاک‌های سنگین منطقه باعث شده است که خاک‌ورزی اولیه و ثانویه زمان‌بر و همراه با تکرار عملیات باشد که در نتیجه، مصرف بالای سوخت (گازوئیل) را موجب شده است، وجود ادوات مناسب مانند کمبینات و سیکلوتیلر، آشنایی توتون‌کاران با شیوه‌های صحیح آماده‌سازی زمین و همچنین توجه به فعالیت‌های آموزشی- ترویجی در این زمینه ضمن کاهش مصرف می‌تواند آثار نامطلوب زیست‌محیطی را نیز کمتر کند.

در این تحقیق، نتایج کل ردپای اکولوژیکی (مستقیم و غیر مستقیم) در توتون سایه‌خشک (۴/۰۵) و توتون گرمخانه‌ای (۳/۶۷) معادل هکتار جهانی را نشان داده است که این مقدار بیشتر از زمین مورد استفاده برای تولید توتون در سطح یک هکتار می‌باشد و بر اساس آن می‌توان نتیجه گرفت که توتون سایه‌خشک در مقایسه با توتون گرمخانه‌ای در وضعیت ناپایداری قرار دارد و برای رفع چالش‌های مربوط به محیط‌زیست در کشت این محصول برای توتون سایه‌خشک ۱/۵۴ و برای توتون گرمخانه‌ای ۱/۱۶ هکتار جهانی زمین بهره‌ور زیستی لازم است.

شاخص‌های پایداری ابزاری است که می‌تواند برای آگاهی توتون‌کاران نسبت به اثرات زیست‌محیطی اقدامات آنان استفاده شود. بر اساس نتایج این مطالعه مصرف نهاده‌های برق، آب ، کود و گازوئیل بیشترین تأثیر را در ناپایداری اکولوژیکی داشته است، بنابراین، مدیریت صحیح مصرف این نهاده‌ها به‌عنوان یک ضرورت مطرح می‌باشد، مواردی مانند استفاده از تکنولوژی‌های مناسب، مصرف کود با توجه به نیاز گیاه، کاهش شدت خاک‌ورزی با استفاده از ماشین‌آلات مناسب و توجه به شرایط اقلیمی و همچنین افزایش آگاهی‌های توتون‌کاران با کمک فعالیت‌های آموزشی- ترویجی می‌تواند در مدیریت صحیح مزرعه، کاهش مصرف نهاده‌ها و استفاده بهینه از آن، مؤثر باشد.

References

1. Acosta Bono, G., González Daimiel, J., Calvo Salazar, M., & Sancho Royo, F. (2001). Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla (Estimation of the Ecological Footprint in Andalusia and Application to the Urban Agglomeration of Seville). Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo,Consejeríade Obras Públicasde la JuntadeAndalucía, Seville, Spain. ISBN 84-8095-270-9. http://hdl.handle.net/10326/974.

2. Baran, M., & Gokdogan, O. (2015). Determination of energy input-output of tobacco production in Turkey. Am-Euras. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 15*(7), 1346-1350.
3. Barimani, F., & lamfiejani, S. (2010). Determining the intensity of environmental instability in rural settlement of Sistan by multi criteria evaluation model. *Journal of Geography and Development, 8*(19), 127-144. (In Persian with English Summary). doi: 10.22111/gdij.2010.1112
4. Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., & Lammel, J. (2004). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy, 20*(3), 247–264. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00024-8
5. Canakci, M., & Akinci, I. (2006). Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy, 31*(8-9), 1243-1256. https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.05.021
6. Carof, M., Colomb, B., & Aveline, A. (2013). A guide for choosing the most appropriate method for multi-criteria assessment of agricultural systems according to decision-makers' expectations. *Agricultural Systems, 115*, 51-62. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.09.011
7. Çebi, Ü.K., Aydin, B., Cakir, R., & Altintas, S. (2019). Energy use efficiency and economic analysis of greenhouse cucumber farming in Turkey: Case of Thrace Region. *Custose Agronegocio, 15*(2), 2-21.
8. Cerutti, A., Beccaro, G.L., Bagliani, M., Donno, D., & Bounous, G. (2013). Multifunctional ecological footprint analysis for assessing eco-efficiency: A case study of fruit production systems in Northern Italy. *Journal of Cleaner Production, 40*, 108-117. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.028
9. Cetin, B., & Vardar, A. (2008). An economic analysis of energy requirements and input costs for tomato production in Turkey. *Renewable Energy, 33*, 428–433. https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.03.008
10. Crishna, N. (2007). Review and Application of the Ecological Footprint: A Case Study of Agricultural Systems in Scotland. A Dissertation Conducted for the Degree of Master of Science, Center for the study of Environmental Change and Sustainability, University of Edinburgh.
11. Dekamin, M., Barmaki, M., Kanooni, A., & Mosavi, R. (2019). Environmental impact assessment of soybean cultivation in Ardabil farms. *Journal of Environmental Science and Technology, 21*(7), 175-184. (In Persian with English Summary). 10.22034/jest.2020.21113.3011
12. Dias, G.M., Ayer, N.W., Khosla, S., Van Acker, R., Young, S.B., Whitney, S., & Hendricks, P. (2017). Life cycle perspectives on the sustainability of Ontario greenhouse tomato production: Benchmarking and improvement opportunities. *Journal of Cleaner Production, 140*, 831-839. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.039
13. Esengun, K., Erdal, G., Gunduz, O., & Erdal, H. (2007). An economic analysis and energy use in stake-tomato production in Tokat province of Turkey. *Renewable Energy, 32*, 1873-1881. https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.07.005
14. Esengun, K., Gunduz, O., & Erdal, G. (2007a). Input-output energy analysis in dry apricot production of Turkey. *Energy Convers Manage, 48*, 592-598. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.06.006
15. Esfahani, S., & Khazaee, J., (2020). Application of multifunctional ecological footprint in sustainability analysis of saffron production in Southern Khorasan. *Journal of Saffron Agronomy and Technology,7*(4), 491-503. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22048/jsat.2019.119069.1290
16. Ewing, B., Moore, D., Goldfinger, S., Oursler, A., Reed, A., & Wackernagel, M. (2010). The Ecological Footprint Atlas 2010. Okland: Global Footprint Network.
17. Fallahpour, F., Aminghafouri, A., Ghalegolab Behbahani, A., & Bannayan, M. (2012). The environmental impact assessment of wheat and barley production by using life cycle assessment (LCA) methodology. *Environment Development Sustainable, 14*, 979-992. https://doi.org/10.1007/s10668-012-9367-3
18. Fathee, F., & Shaikhzainaddin, A. (2018). Survey economic and environmental of corn cultivation with a water footprint approach in Fars province. The 13th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran and the 3rd National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment. University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. (In Persian)
19. Guzman, J., Marrero, M., & Arellano, A. (2013). Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain). *Ecological Indicator, 25*, 239-249. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.10.008
20. Heidari, M.D., & Omid, M. (2011). Energy use patterns and econometric models of major greenhouse vegetable

productions in Iran. *Energy*, *36*(1), 220-225. https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.10.048
21. Holmberg, J., Lundqvist, U., Robèrt, K.H., & Wackernagel, M. (1999). The ecological footprint from a systems perspective of sustainability. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, *6*(1), 17-33.
22. Huijbregts, M.A.J., Hellweg, S., Frischknecht, R., Hungerbühler, K., & Hendriks, A.J. (2008). Ecological footprint accounting in the life cycle assessment of products. *Ecological Economics*, *64*(4), 798-807. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.04.017
23. Jat, H.S., Jat, R.D., Nanwal, R.K., Lohan, S.K., Yadav, A.K., Poonia, T., Sharma, P.C., & Jat, M.L. (2020). Energy use efficiency of crop residue management for sustainable energy and agriculture conservation in NW India. *Renewable Energy*, *155*, 1372-1382. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.046
24. Kanitschar, C., Gassner, A., & Brunner, P.H. (2014). Combining the analysis of resource demand and Ecological Footprint. In EnviroInfo (pp. 669-674).
25. Khanali, M., Akram, A., Behzadi, J., Mostashari-Rad, F., Saber, Z., Chau, K.W., & Nabavi-Pelesaraei, A. (2021). Multi-objective optimization of energy use and environmental emissions for walnut production using imperialist competitive algorithm. *Applied Energy*, *284*, 116342. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116342
26. Khanali, M., Movahedi, M., Yousefi, M., Jahangiri, S., & Khoshnevisan, B. (2016). Investigating energy balance and carbon footprint in saffron cultivation –A case study in Iran. *Journal of Cleaner Production*, *115*, 162-171. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.013
27. Khoramivafa, M., Nouri, M., Mondani, F., & Veisi, H. (2016). Evaluation of virtual water, water productivity and ecological footprint in wheat and maize farms in west of Iran: A Case study of Kouzaran -Kermanshah province. *Journal of Water and Sustainable Development*, *3*(2), 19-26. (In Persian with English Summary). 10.22067/jwsd.v3i2.50280
28. Khosruzzaman, S., Asgar, M.A., Rahman, K.R., & Akbar, S. (2010). Energy intensity and productivity in relation to agriculture-Bangladesh perspective. *Journal of Bangladesh Academy of Sciences*, *34*(1), 59-70. http://www.ijat-aatsea.com/pdf/October_v6_n4_10/1-104-IJAT2009_84R.pdf
29. Koocheki, A., Vafabakhsh, J., & Khorramdel, S. (2018). Evaluation of environmental impacts of important field crops by Life Cycle Assessment (LCA) in Khorasan-e Razavi province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *16*(3), 665-681. (In Persian with English Summary). 1022067/gsc.v16i3.70560
30. Loghmanpour-Zarini, R., & Abedi-Firouzjaee, R. (2013). Energy and water use indexes for tobacco production under different irrigation systems in Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5-12/1332-1339.
31. Ministry of Industry, Mine and Trade. (2015). Report of the Tobacco Planning and Monitoring Center. Tehran, Iran. (In Persian)
32. Mohammadi, A., & Omid, M. (2010). Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied Energy*, *87*(1), 191-196. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.021
33. Mohammadi, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., & Rafiee, H. (2010). Energy inputs–yield relationship and cost analysis of kiwifruit production in Iran. *Renewable Energy*, *35*(5), 1071-1075. https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.09.004
34. Nabavi-Pelesaraei, A., Azadi, H., Van Passel, S., Saber, Z., Hosseini-Fashami, F., Mostashari-Rad, F., & Ghasemi-Mobtaker, H. (2021). Prospects of solar systems in production chain of sunflower oil using cold press method with concentrating energy and life cycle assessment. *Energy*, *223*, 120117. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120117
35. Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Chau, K.W. (2017). Energy consumption enhancement and environmental life cycle assessment in paddy production using optimization techniques. *Journal of Cleaner Production*, *162*, 571-586. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.071
36. Naderi Mahdei, K., Bahrami, A., Aazami, M., & Sheklabadi, M. (2015). Assessment of agricultural farming systems sustainability in Hamedan province using ecological footprint analysis (Case study: irrigated wheat). *Journal of Agricultural Science and Technology*, *17*, 1409-1420.
37. Naderi, S.A., Dehkordi, A.L., & Taki, M. (2019). Energy and environmental evaluation of greenhouse bell pepper production with life cycle assessment approach. *Environmental and Sustainability Indicators*, *3-4*, 100011. https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100011
38. Nemechek, T.H., Heil, A., Gaillard, G., & Garcia, J. (2008). Salca, Swiss Agricultural Life Cycle Assessment Database: Umweltinventareur die Landwirtschaft. Unpublished Internal Document, Version 012, December 2001.

Agroscope FAL Reckenholz, Zurich, Switzerland.
39. Ozkan, B., Fert, C., & Karadeniz, CF. (2007). Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production. *Energy, 32*, 1500-1504. https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.09.010
40. Ozkan, B., Kurklu, A., & Akcaoz, H. (2004a). An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: A case study for Antalya region of Turkey. *Biomass Bioenergy, 26*, 189-195. https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00080-1
41. Passeri, N., Borucke, M., Blasi, E., Franco, S., & Lazarus, E. (2013). The influence of farming technique on cropland: a new approach for the ecological footprint. *Ecological Indicators, 29*, 1–5. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.11.022
42. Pervanchon, F., Bockstaller, C., & Girardin, P., (2002). Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro ecological indicator: The energy indicator. *Agricultural Systems, 72*, 149-172. https://doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00073-7
43. Rezaei, P., Naderi Mahdei K., Karimi, S., & Shanazi, K. (2019). Environmental sustainability assessment of farming system using ecological footprint analysis (Case study: potato and cucumber cultivation in Sofalgaran district of Bahar county. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 29*(2), 53-66. (In Persian with English Summary)
44. Sahle, A., & Potting, J. (2013). Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation. *Science of the Total Environment, 443*, 163-172. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.048
45. Shah-Moridi, R., Kazemi, H., & Kamkar, B. (2016). Evaluation of sustainable agricultural development in Golestan province. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 27*(1), 197-215. (In Persian with English Summary) https://dorl.net/dor/20.1001.1.24764310.1396.27.1.13.3
46. Shamsabadi, H., Abedi, M., Ahmad, D., & Taheri-Rad, A. (2017). Comparison of energy consumption and greenhouse gas emission footprint caused by agricultural products in greenhouses and open field in Iran. Energy *Equipment and Systems, 5*(2), 157-163. https://doi.org/10.22059/ees.2017.25756
47. Sharifzadeh, M., & Kor, A. (2012). Identification and Analysis of Factors Affecting the Process of Tobacco Reduction in Mazandaran Province. Research Reports of Tirtash Tobacco Research and Training Center. Behshaher, Iran. (In Persian)
48. Singh, H., Mishra, D., & Nahar, N.M. (2002). Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone India part I. *Energy Conversion and Management, 43*(16), 2275-2286. https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00161-3
49. Tarazkar, M., Kargar Dehbidi, N., & Shokoohi, Z. (2019). Estimating the ecological footprint of agricultural production in D-8 Islamic countries. *Journal of Environmental Sciences, 16*(4), 17-32. (In Persian with English Summary) https://envs.sbu.ac.ir/article_97985_5e9937d1dfdd916f5dfa60d7c85a3d6e.pdf
50. Tinsley, S., & George, H. (2006). Ecological Footprint of the Findhorn Foundation and Community. Findhorn: SDRC Publication. http://www.socioeco.org/bdf_fiche-document-4520_en.html
51. Van der Werf, H.M., & Turunen, L. (2008). The environmental impacts of the production of hemp and flax textile yarn. *Industrial Crops and Products, 27*(1), 1-10. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.05.003
52. Vuuren, V.D., & Bouwman, L.F. (2005).Exploring past and future changes in the ecological footprint for world regions. *Ecological Economics*, (52), 43–62. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.06.009
53. Yilmaz, I., Akcaoz, H., & Ozkan, B. (2005). An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy, 30*(2), 145-55. https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.06.001
54. Yuan, S., Peng, S., Wang, D., & Man, J. (2018). Evaluation of the energy budget and energy use efficiency in wheat production under various crop management practices in China. *Energy, 160*, 184-191. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.006
55. Zangeneh, M., Omid, M., & Akram, A. (2010). A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. *Energy, 35*(7), 2927-293. https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.03.024

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

Research Article
Vol. 15, No. 3, Fall 2023, p. 625-642

Agroclimatic Suitability Assessment for Rain-Fed Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Based on Growth Period and Precipitation Indices in Kurdistan Province

Hamid Cheraghi[1], Ahmad Ghanbari[2*], Mohammad Reza Asgharipour[2], Javad Taei Samirmi[3] and Ali Hesami[4]

Received: 23-03-2022
Revised: 06-07-2022
Accepted: 23-10-2022
Available Online: 23-10-2022

How to cite this article:
Cheraghi, H., Ghanbari, A., Asgharipour, M.R., Taei Samirmi, J., and Hesami, **A.,** 2023. Agroclimatic suitability assessment for rain-fed Chickpea (*Cicer arietinum* L.) based on growth period and precipitation indices in Kurdistan province. *Journal of Agroecology*, *15*(3), 625-642.
DOI: 10.22067/agry.2022.75791.1103

Introduction

Rainfall is a predominant climatic element that affects the density and location of agricultural systems and the choice of farming operations. The distribution, intensity, duration, and type of rainfall are very important at different stages, such as cultivation, emergence, tillering, stem formation, and flowering. Kurdistan province has regular rainfall with an average rainfall of more than 500 mm annually. Therefore, Kurdistan province is one of Iran's most prone rain-fed areas. This province, with an area under cultivation of 120,000 hectares, is one of the most important areas of chickpea growing in the country. However, rainfall distribution is not the same in all regions of this province, so it is necessary to study the potential risk of chickpea production in Kurdistan province.

Materials and Methods

Long-term climatic data were collected from 15 stations for 20 years from 1991 to 2011. The spatial and temporal analysis results determined the suitable region's climatic-agronomic indices and the amount of dryland chickpea production. Kurdistan province was divided into three climatic regions; High-risk or unsuitable climatic-agro-area (0.23% of the total area), medium-risk area or with relative proportion for production (59.71% of the total area), low-risk or suitable climatic-agro-area (37.96%) From the whole area).

Results and Discussion

The spatial and temporal analysis results determined the suitable region's climatic-agronomic indices and the amount of dryland chickpea production. Kurdistan province was divided into three climatic regions; High-risk or unsuitable climatic-agro-area (0.23% of the total area), medium-risk area or with relative proportion for production (59.71% of the total area), low-risk or suitable climate-agro-area (37.96%) From the whole area). The results of the study on the relationship between rainfall of vegetative stage and the potential of cultivation of dryland chickpeas in the region show except for a small part of Qorveh, Bijar, and Sarvabad cities which are in a weak degree. The whole region is in a very good degree in supplying the required moisture, which is also due to the necessary rainfall at this time and the humidity of the storage capacity stored from the winter rains. The occurrence of suitable precipitations for the vegetative period in the whole region had the highest value

1-M.Sc. Graduated in Agroecology, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.
2- Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agricultural Sciences, Technical and Vocational University, Tehran, Iran.
4- Faculty of Kurdistan Agricultural Research Center, Iran.
(*- Corresponding author's Email: ghanbari@uoz.ac.ir)

compared to other developmental stages. The results of the study on the relationship between reproductive stage rainfall and cultivation potential of rainfed chickpeas in the region showed that Zarrineh station in the north of the region is weak due to unfavorable weather conditions at the beginning of the growing season and the developmental stages of the growing season in this region are delayed. At Zarrineh station, the critical reproductive stage occurs at a time of year when the probability of precipitation in Kurdistan has decreased, and a part of the southeast of Qorveh city is one of the weak and critical areas. The rest of the province, in terms of moisture supply for this stage of dryland chickpea development, is in a suitable degree due to the necessary rainfall in this period of development.

Conclusion

The study results show the relationship between rainfall of the vegetative stage and the cultivation potential of dryland chickpeas in the region, except for a small part of Qorveh, Bijar, and Sarvabad counties, which are in a weak degree. The whole region is in a very good degree in supplying the required moisture, which is also due to the necessary rainfall at this time and the humidity of the storage capacity stored from the winter rains. Occurrence of suitable precipitations for the vegetative period in the whole region had the highest value compared to other developmental stages.

Keywords: Biological day, GIS, Growth period, Rainfall parameters

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۶۴۲-۶۲۵

بررسی تناسب اقلیمی نخود (*Cicer arietinum* L.)، براساس شاخص‌های دوره رشد و بارش در استان کردستان

حمید چراغی[۱]، احمد قنبری*[۲]، محمد رضا اصغری‌پور[۲]، جواد طائی سمیرمی[۳] و علی حسامی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۱

چکیده

توزیع، شدت، مدت و نوع نزولات آسمانی در مراحل مختلف کشت، سبز شدن، پنجه‌زنی، تشکیل ساقه و گل‌دهی نخود (*Cicer arietinum* L.)، اهمیت بسزایی دارد. از طرفی، ریسک یا عدم قطعیت یک عامل بسیار مهم در ارزیابی خطرات آب و هوایی و اثربخشی استراتژی‌های مختلف در سیاست‌های کشاورزی است. هر ریسک اقلیمی توسط خصوصیات طبیعی خود، شامل خصوصیات جغرافیایی، زمان وقوع و شدت ریسک شناخته می‌شود. این مطالعه به‌منظور برآورد ریسک بالقوه تولید نخود دیم در استان کردستان انجام شد. داده‌های درازمدت اقلیمی از ۱۵ ایستگاه برای دوره زمانی بیست ساله ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ جمع‌آوری گردید. نتایج نشان داد که استان کردستان به سه منطقه اقلیم زراعی تقسیم گردید؛ منطقه پر ریسک یا نامناسب اقلیم-زراعی (۰/۲۳ درصد از کل منطقه)، منطقه با ریسک متوسط یا با تناسب نسبی برای تولید (۵۹/۷۱ درصد از کل منطقه)، منطقه کم‌ریسک یا مناسب اقلیم- زراعی (۳۷/۹۶ از کل منطقه). نتایج حاصل از بررسی ارتباط بین بارندگی مرحله رویشی و پتانسیل کشت نخود دیم منطقه نشان داد، به‌جز قسمت‌های ناچیزی از شهرستان‌های قروه و بیجار و سروآباد که در درجه ضعیف می‌باشند. کل منطقه از لحاظ تأمین رطوبت مورد نیاز در درجه بسیار مطلوبی قرار دارد که دلیل این امر نیز بروز بارندگی لازم در این دوره زمانی و رطوبت ذخیره شده از نزولات زمستانه می‌باشد. وقوع نزولات مناسب برای دوره رشد رویشی در کل منطقه دارای بیشترین مقدار نسبت به دیگر مراحل نموی بوده است.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای بارندگی، دوره رشد، روز بیولوژیک، سیستم اطلاعات جغرافیایی

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.)، یک حبوبات یک‌ساله، خودگرده افشان و دیپلوئید (n = 2X = ۱۶) است که پس از سویا رتبه دوم حبوبات را در سراسر جهان دارد (Gayacharan et al., 2020). گیاه نخود یکی از قدیمی‌ترین محصولاتی است که توسط انسان کشت شده است. همچنین شواهد باستان‌شناسی مربوط به نخود نشان می‌دهد که این گیاه ۷۵۰۰ تا ۶۸۰۰ سال قبل از میلاد در خاورمیانه وجود داشته است. به‌طور دقیق‌تر، جنوب شرق ترکیه و سوریه به‌عنوان مرکز منشأ محصول در نظر گرفته می‌شود (Zohary et al., 2012)، نخود عمدتاً در مناطق خشک و نیمه خشک بیش از ۵۰ کشور در سراسر آسیا، آفریقا، اروپا، استرالیا، آمریکای شمالی و آمریکای جنوبی کشت می‌شود. علاوه‌براین در سراسر جهان ۱۷/۲ میلیون تن نخود از حدود ۱۷/۸ هکتار زمین تولید می‌شود (Chandora et al., 2020). ایران

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اگرواکولوژی،گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳- استادیار گروه علوم کشاورزی، دانشگاه فنی حرفه‌ای تهران، ایران.
۴- عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، استان کردستان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: ghanbari@uoz.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2022.75791.1103

پس از هند، ترکیه و پاکستان چهارمین تولیدکننده نخود در جهان می‌باشد و متوسط عملکرد دانه نخود در سراسر جهان ۹۶۵/۱ کیلوگرم در هکتار، در آسیا ۹۱۹/۷ کیلوگرم در هکتار در هکتار و در ایران ۴۴۳/۲ کیلوگرم در هکتار است (Veisi et al., 2020). در ایران، حدود دو درصد از مجموع تولیدات زراعی را حبوبات تشکیل می‌دهند که ۳۴ درصد اراضی به کشت آبی و ۶۶ درصد به کشت دیم اختصاص دارد و ۰/۳۵ میلیون تن نخود از طریق دیم در مساحتی بالغ بر ۵۳۰/۵ هزار هکتار به‌دست می‌آید که استان کردستان ۱۱/۷ درصد از تولید دیم نخود را به خود اختصاص داده است (Agricultural Statistics, 2020). استان کردستان با سطح زیر کشت ۱۲۰ هزار هکتار یکی از مناطق مهم نخودکاری کشور به‌شمار می‌رود. زیرا به علت برخورداری از بارندگی منظم به‌خصوص در غرب استان (متوسط ۲۹ ساله) با متوسط بارندگی بیشتر از ۵۰۰ میلی‌متر در سال از مناطق مستعد دیم‌کاری کشور محسوب می‌شود (Kanuni, 2001). استان کردستان رتبه اول کشت نخود در ایران را دارد (Mansourian et al., 2017). میانگین عملکرد نخود دیم زمستانه در کردستان ۷۵۰ کیلوگرم در هکتار است (Mansourian et al., 2017). آمارها نشان می‌دهد، متوسط عملکرد نخود در شرایط کشور بسیار کمتر از عملکرد بالقوه و قابل حصول این گیاه می‌باشد (Soltania et al., 2016). بنابراین، برای موفقیت در زراعت نخود دیم، آگاهی از شرایط اقلیمی و رویشگاهی مناطق مختلف، که از عوامل تأثیرگذار در کشت دیم می‌باشند، بسیار حائز اهمیت است (Miller et al., 2002).

امروزه نقش اقلیم در بخش کشاورزی، از طریق توزیع جغرافیایی محصول بر اساس شرایط اقلیمی، جهت پیشگیری از آسیب‌های احتمالی بروز سرما و یخبندان، طوفان، خشکسالی و یا کاهش آب بر هیچ‌کس پوشیده نیست. خسارات ناشی از عناصر اقلیمی بر روی محصولات زراعی به‌دلیل عدم تناسب نوع محصول با شرایط محیطی، قابل توجه است (Shikwambana et al., 2021). همچنین با افزایش ریسک تولید، میزان تولید می‌تواند کاهش یافته و این موضوع امنیت غذایی را با خطر روبرو می‌کند. لذا، لازم است اطلاعاتی در مورد ریسک و عدم حتمیت نهاده‌ها و فناوری‌های جدید به‌دست آورد تا بتوان از این راه استراتژی‌های توسعه بخش کشاورزی را تعیین نمود. مسئله ریسک در کشاورزی به‌خصوص کشاورزی به‌صورت دیم از مسائل مهمی است که می‌بایست مد نظر قرار گیرد (FAO, 2015). به‌طور کلی، اولین قدم در رفع چالش موجود در رابطه با برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و سیاست‌گذاری‌های بخش کشاورزی، پهنه‌بندی اگرواکولوژیک است که به مدیریت پایدار منابع کشاورزی می‌انجامد. به همین دلیل بسیاری از پژوهش‌ها از پهنه‌بندی اگرواکولوژیک برای سنجش قابلیت اراضی برای کشت گیاهان زراعی استفاده کردند.

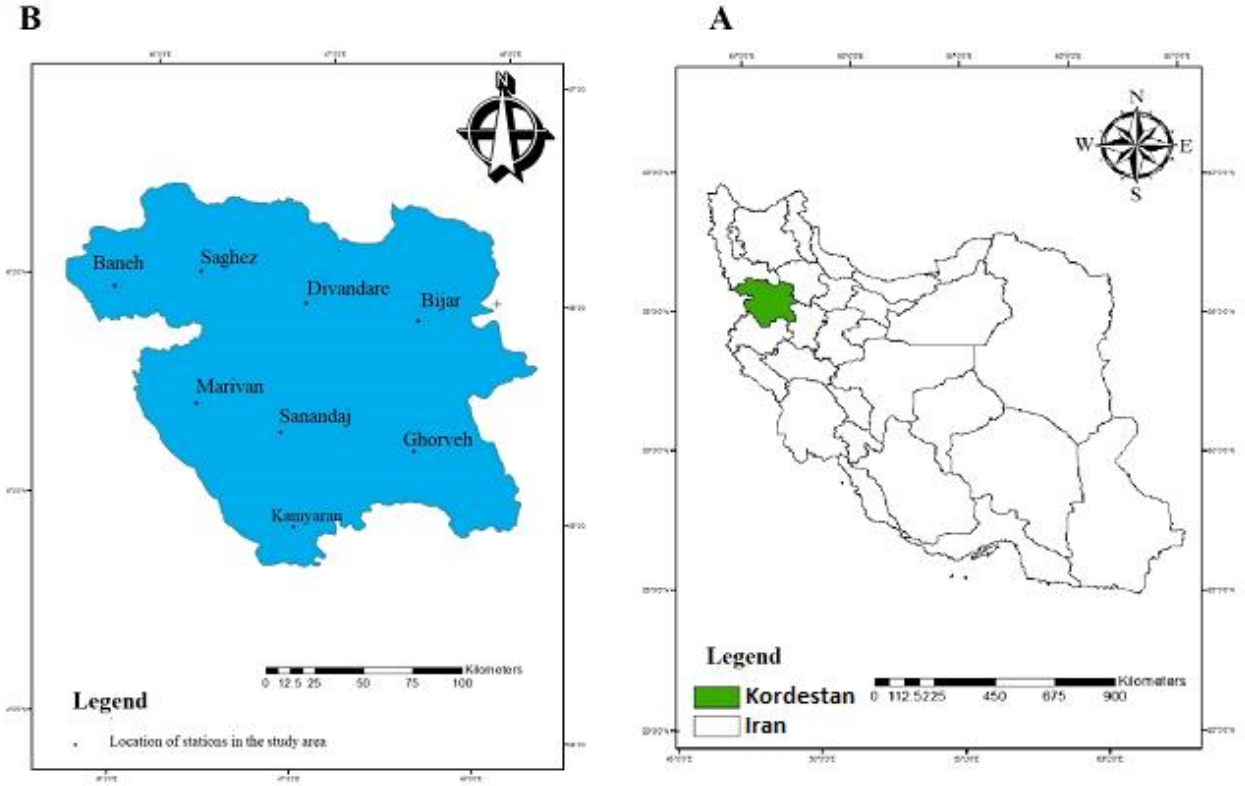
ارتفاع، شیب، جهت، خاک، پوشش زمین و بسیاری از عوامل اقلیمی مؤثر بر رشد محصول، در تعیین مناسب‌ترین مناطق رشد محصول کمک می‌کند. فرآیند طبقه‌بندی تناسب زمین، ارزیابی و گروه‌بندی مناطق خاصی از زمین بر حسب تناسب آن‌ها برای کاربری تعریف شده است (Bhagat et al., 2009). مناطق مناسب برای استفاده کشاورزی با ارزیابی اجزای محیطی و درک محدودیت‌های بیوفیزیکی محلی تعیین می‌شوند. ویژگی‌های توپوگرافی، شرایط آب و هوایی و کیفیت خاک یک منطقه مهم‌ترین پارامترهای تعیین‌کننده در ارزیابی تناسب زمین هستند و استفاده از GIS امکان ساخت مدل‌هایی را فراهم می‌کند که از آن‌ها می‌توان یک نقشه موضوعی جدید (به‌عنوان مثال، نقشه تناسب زمین) از مجموعه‌ای از نقشه‌های موضوعی تولید کرد (Al-Mashreki et al., 2011). در سال‌های اخیر، GIS ابعاد فضایی مورد نیاز زیادی را برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع طبیعی فراهم کرده است. فناوری GIS برای ادغام اطلاعات موجود زیستی- اقلیم، زمین و منابع خاک مفید است (Kumar et al., 2013). شارما و همکاران (Sharma et al., 2010)، با استفاده از پایگاه اطلاعات حاصل از پهنه‌بندی آگرواکولوژیک، میزان بهره‌وری آب را در کشور هند برای زراعت دیم بررسی نمود و پهنه‌های مختلف را از لحاظ پتانسیل زراعت دیم برنج (*Oryza sativa*)، مورد ارزیابی قرار داد. نتایج این پژوهش نشان داد، استفاده از آبیاری تکمیلی با آب ذخیره شده در فصل بارندگی می‌تواند عملکرد برنج را در سطح منطقه‌ای تا ۵۰ درصد افزایش دهد. آرایا و همکاران (Araya et al., 2010)، با استفاده از مفهوم الگوی دوره رشد در پهنه‌بندی آگرواکولوژیک، روش جدیدی برای ارزیابی و تعیین مناطق اقلیمی کشاورزی در مناطق حاره کشور اتیوپی ارائه کرد. این محققین از این روش برای ارزیابی مناطق مورد بررسی از لحاظ تولید گیاهان زراعی دیم نیز استفاده کردند. در مطالعه حاضر، سعی شده است به جنبه دیگری از طبقه‌بندی مزارع بر اساس تجمع واحد روز بیولوژیک و مشخص کردن تاریخ وقوع مراحل نمو نخود در استان کردستان بر اساس روز بیولوژیک و در نظر گرفتن احتمال وقوع شرایط بهینه در

مراحل مختلف نموی نخود اشاره و از آن بهره گرفته شود. بنابراین، با اجرای این تحقیق، مناطق مناسب رشدی نخود دیم را بر اساس، پارامترهای بارندگی طبق مراحل مختلف نموی استخراج شده به‌دست می‌آید و همچنین، شرایط توپوگرافی زمین نظیر شیب و کاربری اراضی به‌صورت احتمال موفقیت در کشت دیم این گیاه تعیین خواهد شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

استان کردستان در غرب ایران بین ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه ۱۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد (شکل ۱- A). مساحت استان کردستان برابر ۲۹۱۳۷ کیلومترمربع بوده که این مساحت ۱/۷ درصد از وسعت کل کشور را شامل می‌شود. کردستان به دلیل داشتن ارتفاعات متعدد و بارندگی‌های نسبتاً زیاد از نقاط سردسیر کشور به‌شمار می‌رود. استان کردستان از دو نوع آب و هوای متمایز برخوردار است. در نواحی کوهستانی و دشت‌های مرتفع، آب و هوای معتدل با زمستان‌های بسیار سرد و در دره‌ها و محدوده‌هایی از قلمرو غربی استان، آب و هوا معتدل است. میانگین دما در ارتفاعات هشت درجه سانتی‌گراد و در مناطق پست ۱۳ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم کردستان متأثر از توده‌های هوای گرم و مرطوب مدیترانه است که این توده‌ها موجب بارندگی‌های موقت در بهار و ریزش برف در زمستان است. به‌طور کلی، در سطح کشور حدود ۱۱۸ ایستگاه سینوپتیک وجود دارد که از این تعداد، هشت ایستگاه در سطح استان کردستان وجود دارد که دارای آمار بلندمدت می‌باشد (شکل ۱-B).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (A) و موقعیت محدوده و ایستگاه‌های مورد مطالعه (B)

Fig. 1- Geographical location of the study area (A) and location of the study area and stations (B)

برای شناسایی ویژگی‌های آب و هوایی منطقه مورد مطالعه لازم است، عناصر اقلیمی موجود در منطقه را به‌دقت مورد بررسی قرار داد. به‌منظور رسیدن به هدف فوق در این بخش از پژوهش، آمار درازمدت (۲۰ ساله طی سال‌های ۹۰-۱۳۷۰ه ش) عناصر اقلیمی شامل

بارندگی روزانه، ماهانه و سالانه و تبخیر ماهانه و سالانه از هشت ایستگاه سینوپتیک درون استانی شامل سنندج، سقز، مریوان، قروه، بیجار، زرینه، بانه و کامیاران و پنج ایستگاه سینوپتیک برون استانی شامل مهاباد، سردشت (استان آذربایجان غربی)، روانسر، کرمانشاه (استان کرمانشاه)، خدابنده (استان زنجان) و همدان جمع‌آوری و مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. جهت بررسی‌های آماری اقلیم منطقه، ابتدا اقدام به جمع‌آوری داده‌ها از طریق مراجعه به سازمان کل هواشناسی کشور گردید. سپس آمار و ارقام به‌دست آمده پس از تجزیه و تحلیل در نرم افزارهای آماری Excel و SPSS، در محیط GIS مورد بررسی قرار گرفتند. شکل ۳ محدوده و موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

مجموع بارندگی روزانه هر سال آماری با استفاده از آمار (۹۰-۱۳۷۰ ه ش) به‌دست آمد. این‌کار برای تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه برای ۲۰ سال آماری انجام شد. در محیط اکسل، لگاریتم داده‌ها را محاسبه کرده و میانگین، انحراف معیار و ضریب چولگی به‌منظور تعیین احتمال حصول بارش لازم برای هر مرحله نموی نخود، از توزیع لوگ‌پیرسون نوع سوم استفاده شد(Mahdavi et al., 2006). برای این کار ابتدا برای همه سال‌ها مجموع بارش هر دوره نموی برای همه ایستگاه‌ها محاسبه گردید، سپس لگاریتم‌ها برای هر دوره حساب شد. به‌کمک این توزیع احتمال بارندگی‌های لازم در هر مرحله نموی نخود برای همه ایستگاه‌ها محاسبه شد (جدول ۱).

ارزش‌دهی به لایه‌ها در این پژوهش، بر گرفته از نظرات کارشناسان کشاورزی و بررسی منابع مختلف صورت گرفت (جدول ۲).

جدول ۱- میزان بارش لازم برای مراحل فنولوژی نخود دیم، استفاده شده در این پژوهش

Table 1- The amount of precipitation required for the phenological stages of dryland chickpeas, used in this study

مراحل نمو Developmental stages	بارش لازم Precipitation required (mm^{-1})
مرحله سبز شدن (جوانه‌زنی و سبز شدن) Planting period (germination and germination)	15
مرحله رویشی (بعد از جوانه‌زنی تا شروع گل‌دهی) Vegetation period (after germination to the beginning of flowering)	100
مرحله زایشی (گل‌دهی و غلاف‌دهی) Reproductive period (flowering and podding)	45
مرحله رسیدگی Plant ripening period	10
سالانه Annually	300

جدول ۲- ارزش وزنی همپوشانی لایه‌های بارندگی در محیط GIS (ارزش لایه به درصد)

Table 2- Weight value of overlap of rainfall layers in GIS environment (layer value in percentage)

لایه Layer	رسیدگی Plant ripening	زایشی Reproductive	رویشی Vegetative	جوانه‌زنی Germination
بارندگی Rainfall	20	30	20	30

در این مطالعه، نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه گردید و از آن برای ایجاد مدل رقومی ارتفاع[1] (DEM) منطقه و همچنین ایجاد لایه شیب منطقه مورد مطالعه استفاده شد. در این پژوهش، نقشه کاربری‌اراضی منطقه مورد مطالعه از اداره منابع طبیعی استان کردستان تهیه گردید و از آن برای استخراج مناطق دارای قابلیت کشت منطقه مورد مطالعه استفاده شد.

همچنین با استفاده از دما و ساعات آفتابی اقدام به تعیین روز بیولوژیک روزانه گردید. در این پژوهش، از مقادیر تجمعی روز بیولوژیک برای تعیین شروع مرحله نموی استفاده شد. هر مرحله

1- Digital Elevation Model

نموی زمانی رخ می‌دهد که جمع BD[1] روزهای قبلی به D_{min} برسد یا از آن عبور کند. که با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود (Soltani, 2009):

معادله (۱)
$$BD = f(T) \times f(PP)$$

که در آن، $f(T)$: تابع دمایی و $f(PP)$: تابع طول روز هستند.

معادله (۲)

اگر $Tb < T < To1$
$$f(T) = \frac{(T - Tb)}{(To1 - Tb)}$$

اگر $To2 < T < Tc$
$$f(T) = \frac{(Tc - T)}{(Tc - To2)}$$

اگر $To1 < T < To2$
$$f(T) = 1$$

اگر $T <= Tb$ or $T => Tc$
$$f(T) = 0$$

که در آن، T: دما، Tb: دمای پایه، To: دمای مطلوب، To1: دمای مطلوب پایین، To2: دمای مطلوب بالا، Tc: دمای سقف می‌باشند. توابع فتوپریودی مورد استفاده به‌صورت زیر بود:

معادله (۳)

اگر $PP => Pc$
$$f(PP) = 1$$

اگر $PP < Pc$
$$f(PP) = 1 - PS \times (Pc - PP)_2$$

که در آن، pp: فتوپریود (ساعت در روز) یا (hd-1)، Pc: فتوپریود بحرانی که در کمتر از آن سرعت نمو به‌علت کوتاه بودن طول روز تقلیل می‌یابد و Ps: ضریب حساسیت فتوپریودی (طول روز) می‌باشد. برای مراحل کاشت تا سبز شدن و گل‌دهی تا رسیدگی، مقدار تابع فتوپریود یک در نظر گرفته شد که نشان می‌دهد این مراحل به طول روز واکنش نشان نمی‌دهند. مقادیر دمای پایه، دمای مطلوب تحتانی، دمای مطلوب فوقانی و دمای سقف برای مرحله کاشت تا سبز شدن به‌ترتیب ۴/۵، ۲۰، ۲۹ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۰، ۲۱، ۳۲ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد برای مراحل دیگر و مقدار Pc ۲۱ ساعت در روز و ارزش ps ۰/۰۰۸۴۵ می‌باشد (Soltani et al., 2006).

احتمال بروز بارندگی ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در مرحله رسیدگی

برای به‌دست آوردن نقشه توزیع جغرافیایی احتمال بروز بارندگی ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رسیدگی، ابتدا احتمال بروز بارندگی ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رسیدگی در منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. سپس معادله همبستگی بین ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های منطقه و احتمالات فوق‌الذکر استخراج گردید و در تهیه نقشه از آن‌ها استفاده شد. جدول ۶ احتمال بروز بارندگی ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رسیدگی نخود را در هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

بررسی هم اقلیمی نخود براساس پارامتر بارندگی

بارندگی یک عنصر آب و هوایی غالب می‌باشد که تراکم و محل استقرار سیستم‌های زراعی و انتخاب عملیات کشاورزی زارع را تحت تأثیر قرار می‌دهد و زمانی که با مقدار کم، تمرکز، نوسان و عدم اطمینان همراه باشد به خطر اقلیمی برای کشاورزی تبدیل می‌گردد. بنابراین، توزیع، شدت، مدت و نوع نزولات آسمانی در مراحل مختلف کشت، سبز شدن، پنجه‌زنی، تشکیل ساقه و گل‌دهی اهمیت بسزایی دارد (Sobhani et al., 2020). محاسبه احتمال بروز بارندگی لازم برای هر دوره نموی نخود با توجه به جدول ۳، با استفاده از توزیع لوگ پیرسون نوع سوم (تیپ ۳) محاسبه گردید که به قرار زیر می‌باشد:

نقشه توزیع جغرافیایی احتمال بروز بارندگی ۱۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره کاشت تا سبز شدن

برای به‌دست آوردن نقشه توزیع جغرافیایی احتمال بروز بارندگی ۱۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره کاشت تا سبز شدن، ابتدا احتمال بروز بارندگی ۱۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره کاشت تا سبز شدن در منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. سپس معادله همبستگی بین ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های منطقه و احتمالات فوق‌الذکر استخراج گردید و در تهیه نقشه از آن‌ها استفاده شد. جدول ۳ احتمال بروز بارندگی ۱۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره کاشت تا سبز شدن نخود را در هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۳، احتمال بروز بارندگی ۱۵ میلی‌متر و بیشتر برای دوره کاشت تا سبز شدن در شهرستان سروآباد و قسمت ناچیزی از غرب شهرستان بانه در شرایط بحرانی قرار دارد، لذا انجام آبیاری تکمیلی برای این دوره در این نواحی ضرورت پیدا می‌کند، در اکثر ایستگاه‌ها احتمال وقوع بروز بارندگی برای این دوره در حد مطلوبی می‌باشد، شایان ذکر است در دو ایستگاه سقز و زرینه احتمال وقوع

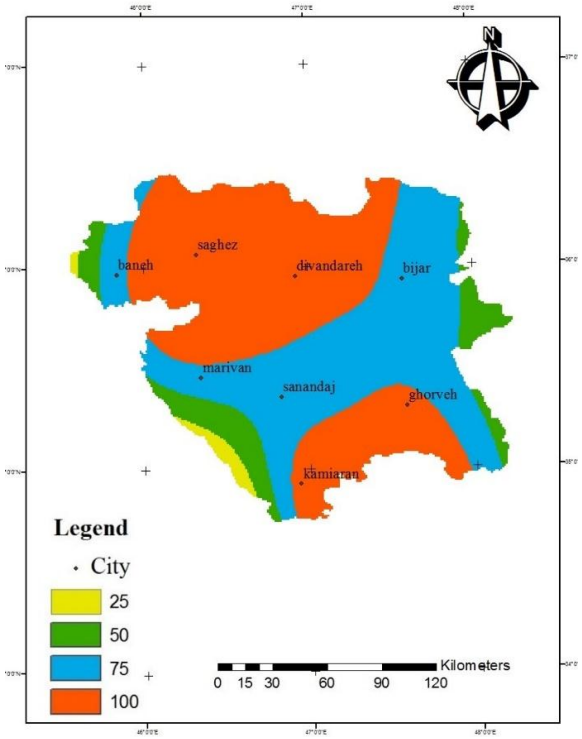
1- Biological Days

بروز بارندگی ۱۵ میلی‌متر و بیشتر به‌علت مصادف شدن دوره کاشت تا سبز شدن (به‌صورت انتظاری) با اوایل فروردین دارای بیشترین مقدار بوده و شرایط بسیار مطلوبی از لحاظ رطوبتی برای این دوره نخود مهیا می‌باشد. شکل ۲، نقشه توزیع جغرافیایی وقوع احتمالات فوق را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد.

جدول ۳- احتمال بروز بارندگی ۱۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره کاشت تا سبز شدن

Table 3- Probability of rainfall of 15 mm and more during the planting period until emergence

ایستگاه Station	احتمال بروز Probability of occurrence (percentage)
سنندج Sanandaj	67
سقز Sagez	100
مریوان Marivan	71
قروه Qorveh	81
بیجار Bijar	67
زرینه Zarrineh	100
بانه Baneh	75
کامیاران Kamyaran	71



شکل ۲- نقشه توزیع جغرافیایی احتمال بروز بارندگی ۱۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره کاشت تا سبز شدن گیاه نخود

Fig. 2- Geographical distribution map of the probability of rainfall of 15 mm and more in the planting to emergence Chickpea plant

نقشه فوق دارای چهار پهنه به‌شرح زیر می‌باشد.

الف- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارندگی ۱۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره کاشت تا سبز شدن می‌باشد که کمتر از ۲۵ درصد بوده و شامل منطقه کوچکی است.

ب- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارندگی ۱۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره کاشت تا سبز شدن می‌باشد که بین ۲۵ تا ۵۰ درصد است.

ج- مناطقی که در آن‌ها احتمال بارندگی ۱۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره کاشت تا سبز شدن بین ۵۰ تا ۷۵ درصد که شامل بخش میانی از منطقه را شامل می‌شود.

د- مناطقی که در آن‌ها احتمال بارندگی ۱۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره کاشت تا سبز شدن بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد شامل قسمت‌های شمالی و جنوبی در بخش مرکزی منطقه می‌باشد.

طبق این نقشه، اراضی قابل کشت منطقه مطالعاتی از لحاظ تأمین بارندگی برای مراحل مختلف رشدی نخود دارای محدودیت چندانی نمی‌باشد.

نقشه توزیع جغرافیایی احتمال بروز بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رویشی

برای به‌دست آوردن نقشه توزیع جغرافیایی احتمال بروز بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رویشی، ابتدا احتمال بروز بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رویشی در منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. سپس مقدار رطوبت ذخیره شده در خاک که از نزولات دوره رکود باقی می‌ماند، به این مقدار اضافه شد، سپس معادله همبستگی بین ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های منطقه و احتمالات فوق‌الذکر استخراج گردید و در تهیه نقشه از آن‌ها استفاده شد. جدول ۴ احتمال بروز بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رویشی نخود را در هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد.

جدول ٤- احتمال بروز بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رویشی

Table 4- Probability of rainfall of 100 mm and more during the growing season

ایستگاه Station	احتمال بروز Probability of occurrence (percentage)
سنندج Sanandaj	86
سقز Sagez	100
مریوان Marivan	100
قروه Qorveh	71
بیجار Bijar	70
زرینه Zarrineh	100
بانه Baneh	100
کامیاران Kamyaran	100

با توجه به جدول ۴، احتمال بروز بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رشد رویشی در سه ایستگاه قروه، بیجار، سنندج، کمتر بود. در بقیه ایستگاه‌ها احتمال بروز بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رویشی بیشترین مقدار بود و شرایط بسیار مطلوبی برای این دوره نخود مهیا می‌باشد (شکل ۳).

نقشه فوق دارای چهار پهنه به شرح زیر می‌باشد:

الف- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رویشی کمتر از ۲۵ درصد می‌باشد.

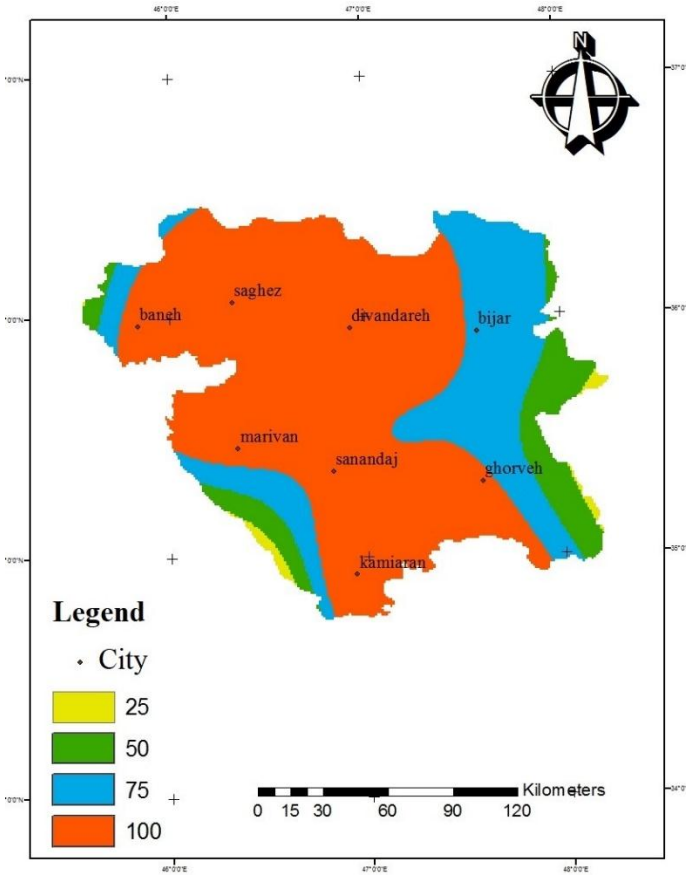
ب- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رویشی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد بوده و شامل قسمت

کمتری از منطقه می‌باشد.

ج- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره دوره رویشی بین ۵۰ تا ۷۵ درصد بیشتر در شرق وقسمت کمی در غرب منطقه می‌باشد.

د- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره دوره رویشی بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد می‌باشد، قسمت بیشتر از منطقه را شامل می‌شود.

مهم‌ترین عوامل در عملیات کشاورزی مربوط به عوامل اقلیمی می‌باشند. برای آن که بتوان حداکثر بهره‌برداری زراعی را از یک رژیم اقلیمی معین و شرایط طبیعی هر منطقه کسب نمود، لازم است قبل از هر برنامه‌ریزی در این زمینه عوامل هواشناسی و طبیعی آن منطقه را مورد بررسی قرار داد.



شکل ۳- نقشه توزیع جغرافیایی احتمال بروز بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رشد رویشی گیاه نخود

Fig. 3- Geographical distribution map of the probability of rainfall of 100 mm and more in the vegetative period Chickpea plant

استان کردستان از مناطق مستعد کشاورزی در ایران می‌باشد و مطالعه در خصوص تأثیر آب و هوا و عوامل محیطی منطقه از اهمیت زیادی برخوردار هستند. درک روند بارندگی در پیش‌بینی بهره‌وری محصولات تحت تغییرات آب و هوا و تنوع بسیار مهم است (Shikwambana et al., 2021) وقوع نزولات مناسب برای دوره رویشی در کل منطقه دارای بیشترین مقدار نسبت به دیگر مراحل نموی بوده است. نتایج حاصل از بررسی ارتباط بین بارندگی مرحله رویشی و پتانسیل کشت نخود دیم منطقه نشان داد که به‌جز قسمت‌های ناچیزی از شهرستان‌های قروه و بیجار و سروآباد که در درجه ضعیف می‌باشند، کل منطقه از لحاظ تأمین رطوبت مورد نیاز در درجه بسیار مطلوبی قرار دارد که دلیل این امر نیز بروز بارندگی لازم در این برهه از زمان و رطوبت ظرفیت زراعی ذخیره شده از نزولات زمستانه می‌باشد.

بر اساس آمار بلندمدت هواشناسی، اطلاعات مربوط به شرایط

اقلیمی منطقه از جمله میزان و نحوه پراکنش بارندگی و تغییرات دما به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک از اهمیت بالایی برخوردار است. نتایج بنی عقیل و همکاران (Baniaghil et al., 2017) نشان داد که بارندگی شدید در زمان کشت منجر به تأخیر بیشتر در آماده‌سازی زمین و در نتیجه، تأخیر در کشت می‌شود. همچنین دمای بالا به همراه کاهش بارندگی باعث تسریع خشک شدن خاک و کاهش رطوبت خاک شده که ظهور گیاه یا مواجهه با تنش رطوبتی در مراحل بعدی رشد را به تأخیر می‌اندازد. به‌طوری‌که کاهش آب تقریباً بر تمام فرآیندهای دانه‌بندی تأثیر می‌گذارد که بارزترین آن‌ها کاهش جذب عناصر غذایی است که در نهایت، وزن کل دانه‌ها را کاهش می‌دهد (Sobhani, 2005).

نقشه توزیع جغرافیایی احتمال بروز بارندگی ۴۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره زایشی

حساس‌ترین مرحله رشدی گیاه نخود نسبت به کمبود آب مرحله گل‌دهی و اوایل غلاف‌بندی می‌باشد. برای به‌دست آوردن نقشه توزیع جغرافیایی احتمال بروز بارندگی ۴۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره زایشی، ابتدا احتمال بروز بارندگی ۴۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره زایشی در منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. سپس معادله همبستگی بین ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های منطقه و احتمالات فوق‌الذکر استخراج گردید و در تهیه نقشه از آن‌ها استفاده شد. جدول ۵، احتمال بروز بارندگی ۴۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره زایشی نخود را در هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد.

جدول ۵- احتمال بروز بارندگی ٤٥ میلی‌متر و بیشتر در دوره زایشی

Table 5- The probability of rainfall of 45 mm and more in the reproductive period

ایستگاه Station	احتمال بروز Probability of occurrence (percentage)
سنندج Sanandaj	81
سقز Sagez	76
مریوان Marivan	86
قروه Qorveh	57
بیجار Bijar	62
زرینه Zarrineh	24
بانه Baneh	85
کامیاران Kamyaran	86

با توجه به جدول ۵، احتمال بروز بارندگی ۴۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره زایشی در ایستگاه در زرینه کمترین مقدار می‌باشد. در ایستگاه‌های مریوان و کامیاران احتمال بروز بارندگی ۴۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره زایشی بیشترین مقدار می‌باشد و شرایط مطلوب‌تری برای این دوره نخود مهیا می‌باشد. شکل ۴، نقشه توزیع جغرافیایی وقوع احتمالات فوق را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد.

نقشه فوق دارای چهار پهنه به شرح زیر می‌باشد:

الف- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارندگی ۴۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره زایشی کمتر از ۲۵ درصد می‌باشد و بیشتر در قسمت شمالی منطقه را شامل می‌شود.

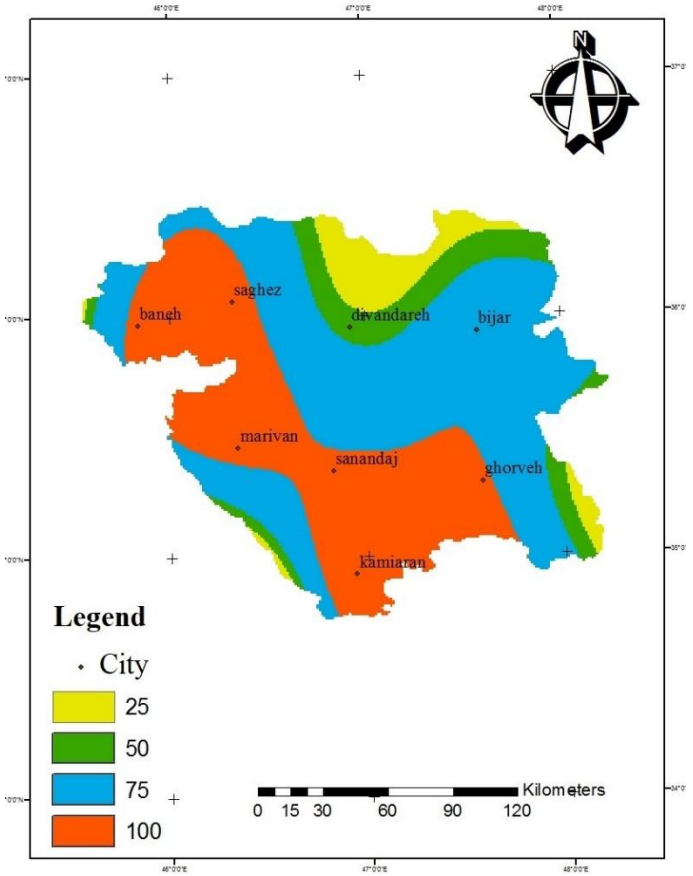
ب- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارندگی ۴۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره زایشی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد می‌باشد.

ج- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارندگی ۴۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره زایشی بین ۵۰ تا ۷۵ درصد بوده و شامل بیشتر در قسمت میانی و شرق منطقه امتداد دارد.

د- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارندگی ۴۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره دوره رویشی بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد می‌باشد، بیشتر در قسمت جنوب و غرب منطقه را شامل می‌شود.

از آنجا که حساس‌ترین مرحله رشدی گیاه نخود نسبت به کمبود آب مرحله گل‌دهی و اوایل غلاف بندی می‌باشد، و با توجه به نقشه ۶ شمال منطقه مطالعاتی از نظر تأمین رطوبت برای این مرحله ضعیف می‌باشد، پس انجام آبیاری تکمیلی خصوصاً در این مرحله بسیار الزامی به نظر می‌رسد.

نتایج حاصل از بررسی ارتباط بین بارندگی مرحله زایشی و پتانسیل کشت نخود دیم منطقه نشان داد که ایستگاه زرینه در شمال منطقه، به‌دلیل نامساعد بودن شرایط جوی در اوایل فصل رشد در درجه ضعیف قرار دارد و مراحل نمو دوره رشد در این منطقه به تعویق می‌افتد. در ایستگاه زرینه، مرحله حساس زایشی در موقعی از سال اتفاق می‌افتد که عملاً احتمال وقوع نزولات جوی در کردستان پایین آمده است و قسمتی از جنوب شرقی شهرستان قروه هم جزء مناطق ضعیف و بحرانی می‌باشد. بقیه مناطق استان از لحاظ تأمین رطوبت برای این مرحله نموی نخود دیم در درجه مناسب می‌باشد، که به‌دلیل بارش لازم در این دوره نمو می‌باشد.



شکل ٤- نقشه توزیع جغرافیایی احتمال بروز بارندگی ٤٥ میلی‌متر و بیشتر در دوره رشد زایشی گیاه نخود

Fig. 4- Geographical distribution map of the probability of rainfall of 45 mm and more in the reproductive period Chickpea plant

با توجه به جدول ۶، احتمال بروز بارندگی ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رسیدگی درکل ایستگاهای منطقه در حد بحرانی می‌باشد، که نشان از تنش خشکی آخر فصل در منطقه مورد مطالعه می‌باشد، خصوصاً ایستگاه قروه، سروآباد و قسمت‌هایی از شهرستان سنندج در کمترین مقدار و شرایط بحرانی می‌باشد. قابل ذکر است در ایستگاه کامیاران احتمال بروز بارندگی ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رسیدگی بیشترین مقدار می‌باشد و شرایط مطلوب‌تری برای این دوره نخود مهیا می‌باشد. شکل ۵ نقشه توزیع جغرافیایی وقوع احتمالات فوق را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد.

نقشه فوق دارای چهار پهنه به شرح زیر می‌باشد:

الف- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارندگی ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رسیدگی کمتر از ۲۵ درصد می‌باشد، تقریباً نیمه جنوبی

به‌جز شهرستان کامیاران را شامل می‌شود.

ب- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارندگی ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رسیدگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد بوده و شامل قسمت بیشتر از منطقه شامل قسمت‌های شمال و شمال غربی استان می‌باشد.

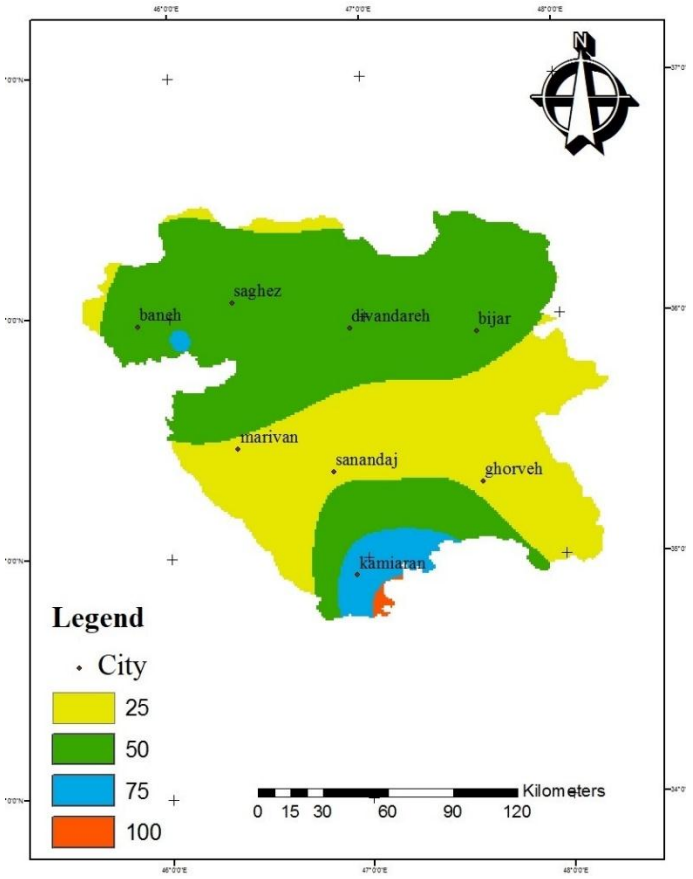
ج- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارندگی ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره زایشی بین ۵۰ تا ۷۵ درصد بوده و شامل ایستگاه کامیاران در جنوب منطقه را شامل می‌شود.

د- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارندگی ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره دوره رویشی بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد می‌باشد، قسمت بسیار ناچیزی از منطقه را شامل می‌شود.

جدول ٦- احتمال بروز بارندگی ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در مرحله دانه‌بندی تا رسیدگی گیاه نخود

Table 6- Probability of rainfall of 10 mm and more in the period from seed to maturity Chickpea plant

ایستگاه Station	احتمال بروز Probability of occurrence (percentage)
سنندج Sanandaj	24
سقز Sagez	33
مریوان Marivan	29
قروه Qorveh	14
بیجار Bijar	29
زرینه Zarrineh	33
بانه Baneh	46
کامیاران Kamyaran	57

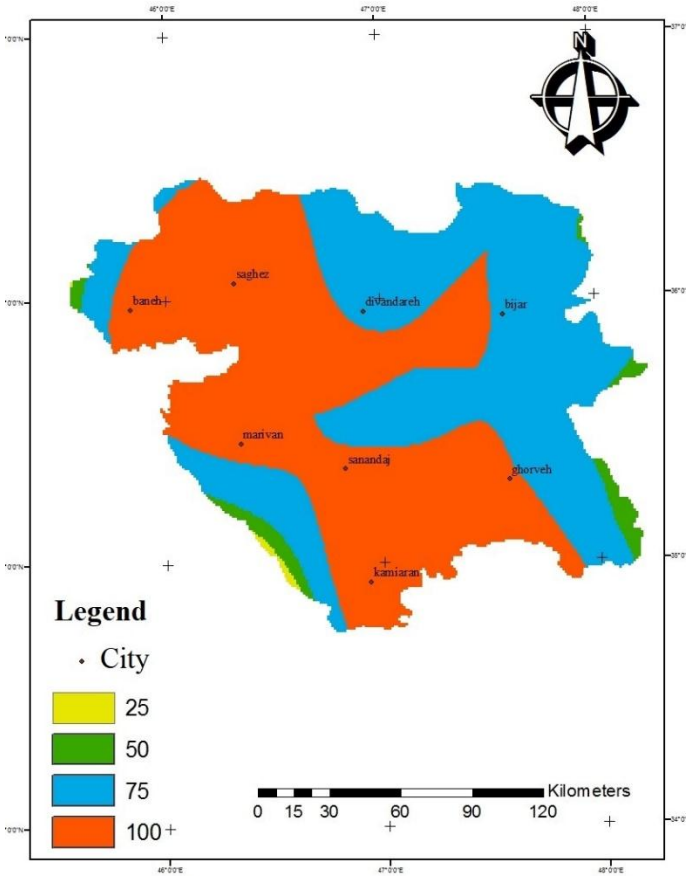


شکل ۵- نقشه توزیع جغرافیایی احتمال بروز بارندگی ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رسیدگی گیاه نخود

Fig. 5- Geographical distribution map of the probability of precipitation of 10 mm and more during the ripening periodChickpea plant

همپوشانی نقشه‌های احتمالات بروز بارندگی بهینه مراحل کاشت تا سبز شدن، دوره رویشی، دوره زایشی و دوره رسیدگی

پس از تهیه نقشه‌های توزیع جغرافیایی احتمال بروز بارندگی ۱۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره کاشت تا سبز شدن، احتمال بروز بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رویشی، احتمال بروز بارندگی ۴۵ میلی‌متر و بیشتر در دوره زایشی، احتمال بروز بارندگی ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره رسیدگی، همپوشانی چهار نقشه مذکور توسط نرم‌افزار Arc Map انجام گرفت که در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ٦- همپوشانی نقشه‌های احتمالات بروز بارندگی بهینه مراحل کاشت تا سبز شدن، دوره رویشی، دوره زایشی و دوره رسیدگی گیاه نخود
Fig. 6- Overlap of optimal rainfall probability maps of planting to emergence stages, vegetative period, reproductive period, and maturity period Chickpea plant

نقشه فوق دارای چهار پهنه به شرح زیر می‌باشد:

الف- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارش مناسب در دوره رشد کمتر از ۲۵ درصد می‌باشد که قسمت خیلی کمی از اراضی قابل کشت منطقه را شامل می‌شود.

ب- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارش مناسب در دوره رشد بین ۲۵ تا ۵۰ درصد بوده و شامل قسمت کمی از اراضی قابل کشت منطقه می‌باشد.

ج- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارش مناسب در دوره رشد بین ۵۰ تا ۷۵ درصد می‌باشد که قسمت قابل توجه از اراضی قابل کشت به‌خصوص قسمت شرقی منطقه را شامل می‌شود.

ب- مناطقی که در آن‌ها احتمال بروز بارش مناسب در دوره رشد بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد بوده و شامل قسمت بیشتری از اراضی قابل کشت منطقه می‌باشد.

طبق این نقشه، عامل بارش نسبت به عامل دمایی تأثیر کمتری را روی تعیین مناطق مناسب کشت نخود دیم دارد و در اکثر مناطق اراضی قابل کشت منطقه میزان رطوبت لازم برای مراحل مختلف نموی این گیاه به‌طور کامل تأمین می‌شود.

نقشه هم اقلیمی پتانسیل کشت نخود دیم در منطقه مورد مطالعه

پس از تهیه نقشه توزیع جغرافیایی احتمالات بهینه دمایی، نقشه احتمالات بروز بارندگی بهینه، نقشه توزیع جغرافیایی شیب بهینه و کاربری اراضی همپوشانی چهار نقشه مذکور توسط نرم‌افزارArc Map انجام گرفت که نتایج آن نقشه نهایی هم اقلیمی پتانسیل کشت نخود دیم استان کردستان را نشان می‌دهد. جدول ۱۳-۴ درجه‌بندی مناطق کشت نخود در استان کردستان را نشان داده است.

با توجه به جدول ۷، قسمت قابل توجهی اراضی قابل کشت منطقه مورد مطالعه در درجه مناسب قرار داشته و احتمال موفقیت کشت نخود دیم در این مناطق ۱۰۰-۷۵ درصد می‌باشد و مناطق متوسط برای کشت نخود دیم که احتمال موفقیت کشت نخود دیم در

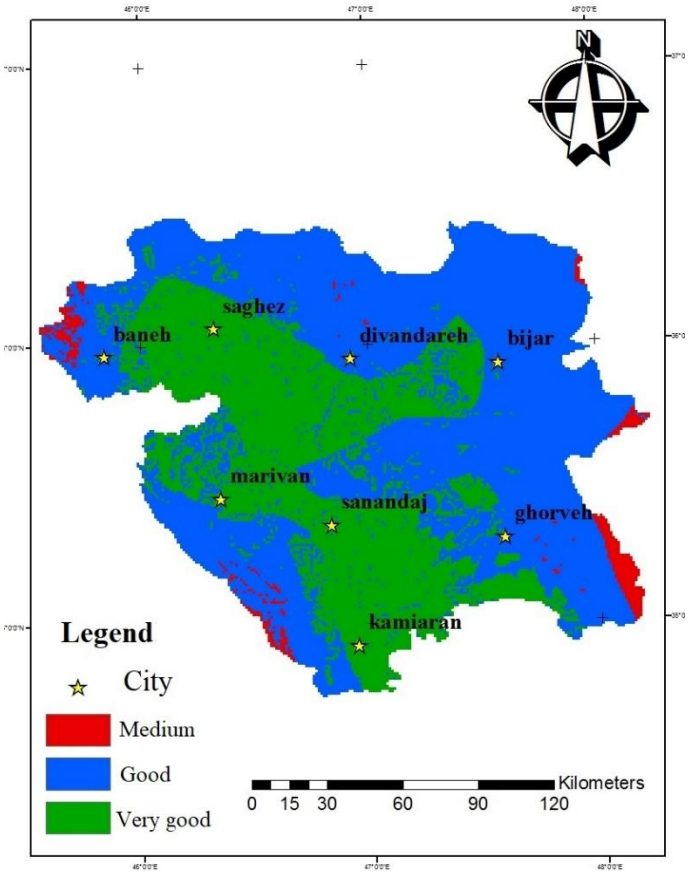
این مناطق ۷۵-۵۰ درصد می‌باشد سهم بیشتری از اراضی قابل کشت منطقه را دارا می‌باشد. مناطق ضعیف برای کشت نخود دیم که احتمال موفقیت کشت نخود دیم در این مناطق ۵۰- ۲۵ درصد می‌باشد، سهم خیلی کمی از اراضی قابل کشت منطقه را دارا می‌باشد.

شکل ۷، نقشه توزیع جغرافیایی کشت نخود دیم را در استان کردستان نشان می‌دهد.

جدول ۷- درجه‌بندی مناطق کشت نخود در استان کردستان با ذکر مساحت

Table 7- Grading of chickpea growing areas in Kurdistan province with area

رتبه‌بندی Ranking	مساحت نسبت به کل مساحت منطقه مورد مطالعه Ratio to total area of field study
خیلی مناسب Very Convenient	0.379632
مناسب Suitable	0.597111
متوسط Medium	0.023257



شکل ۷- نقشه هم اقلیمی پتانسیل کشت نخود دیم در استان کردستان

Fig. 7- Climatic map of dryland chickpea cultivation potential in Kurdistan province

نقشه فوق دارای سه پهنه به شرح زیر می‌باشد.

الف) مناطق خیلی مناسب، که در این مناطق احتمال موفقیت

کشت نخود دیم۱۰۰–۷۵ درصد می‌باشد و ۳۷/۹۶ درصد از اراضی قابل کشت منطقه مورد مطالعه را در بر می‌گیرد.

ب) مناطق مناسب، که در این مناطق احتمال موفقیت کشت نخود دیم ۷۵–۵۰ درصد می‌باشد و شامل ۵۹/۷۱ درصد از اراضی قابل کشت منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

ج) متوسط، که در این مناطق احتمال موفقیت کشت نخود دیم۵۰–۲۵ درصد می‌باشد و ۰/۲۳ درصد از اراضی قابل کشت منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود.

در پژوهشی که سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2001)، بررسی کردند، مشاهده شد که در مناطقی مثل دو ایستگاه مراغه و خرمشهر که با خشکی انتهای فصل روبرو هستند، استفاده از ارقام نخود که در مصرف رطوبت موجود در خاک طی دوره رشد خود نوعی توازن برقرار می‌کنند، ارجح‌تر است. از آنجا که این مرحله حساس‌ترین مرحله نمو نخود به کمبود رطوبت می‌باشد، لذا توجه به تأمین رطوبت برای این مرحله نمو در ایستگاه زرینه و قسمت‌هایی از ایستگاه قروه که در درجه بحرانی طبقه‌بندی شدند، از ضروریات نمو این گیاه زراعی در دوره زایشی در این دو ایستگاه می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی ارتباط بین بارندگی مرحله رسیدگی و پتانسیل کشت نخود دیم منطقه نشان داد که به‌جز قسمت ناچیزی از شهرستان بانه و کامیاران به‌ترتیب در غرب و جنوب منطقه که در درجه مناسب و بسیار مناسب قرار دارند، بقیه مناطق استان از لحاظ تأمین رطوبت برای این مرحله نموی نخود دیم در درجه متوسط و بحرانی قرار دارد و رطوبت لازم برای این مرحله تأمین نمی‌شود، که این نشان از عدم بارندگی لازم برای این دوره نمو نخود دیم می‌باشد، که استفاده از ارقام نخود که در مصرف رطوبت موجود در خاک طی دوره رشد خود نوعی توازن برقرار می‌کنند، ارجح‌تر است و انجام آبیاری تکمیلی از ضروریات این مرحله نموی در اکثر منطقه به‌جز قسمت‌های ناچیزی از ایستگاه کامیاران ضرورت پیدا می‌کند.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پژوهش، استان کردستان به سه منطقه آب و هوایی مشخص تقسیم شد که شامل منطقه زراعی اقلیمی پرخطر یا نامناسب (۰/۲۳ درصد کل مساحت)، منطقه با خطر متوسط یا با تولید نسبی (۵۹/۷۱ درصد از کل سطح)، منطقه کشاورزی کم خطر یا مناسب (۳۷/۹۶ ٪ از کل منطقه) بود. نتایج بررسی رابطه بین بارندگی مرحله رویشی با پتانسیل کشت نخود دیم در منطقه نشان داد که وقوع بارش‌های مناسب برای دوره رویشی در کل منطقه بیشترین ارزش را نسبت به سایر مراحل رشد داشت و به‌دلیل وقوع بارندگی‌های لازم در این زمان و رطوبت ذخیره شده از بارش‌های زمستانی اکثر منطقه از نظر تأمین رطوبت مورد نیاز در درجه بسیار مطلوبی قرار دارد، به‌جز بخش کوچکی از شهرستان‌های قروه، بیجار و سروآباد که در درجه ضعیفی قرار دارند.

References

1. Al-Mashreki, M. H., Akhir, J. B. M., Rahim, S. A., Kadderi, D. M., Tukimat, L., & Haider, A. R. (2011). Land suitability evaluation for sorghum crop in the Ibb Governorate, republic of Yemen using remote sensing and GIS techniques. *Australian Journal of Basic and Applied Science*, *5*, 359–368.
2. Araya, A., Keesstra, S. D., & Stroosnijder, L.(2010). A new agro-climatic classification for crop suitability zoning in northern semi-arid Ethiopia. *Agricultural and Forest Meteorology*, *150*, 1057–1064.
3. Baniaghil, A. S., Rahemi karizki, A., Biabani, A., & faramarzi, H. (2017). Potential Climatic Zoning of Wheat (T*riticum aestivum L.*) Golestan Province. *Journal of Agroecology,(9)3*, 821-833. (In Persian with English Summary) doi: 10.22067/jag.v9i3.52027
4. Bhagat, R.M., Singh, S., Sood, C., Rana, R.S., Kalia, V., Pradhan, S., Immerzeel, W., & Shrestha, B. (2009). Land suitability analysis for cereal production in Himachal Pradesh (India) using geographical information system. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, *37*, 233–240. https://doi.org/10.1007/s12524-009-0018-6
5. Chandora R, & Gayacharan, Shekhawat N, M. N. (2020). Chickpea genetic resources: Collection, conservation, characterization, and maintenance. In: Chickpea: Crop Wild Gains; Academic Press. Relatives for Enhancing Genetic Acadamic Press 37–61.
6. FAO. (2022). Agricultural production statistics 2000–2020. FAOSTAT analytical brief series no. 41.

7. Change, F. C. (2015). Food Security: Risks and Responses. FAO: Rome, Italy, 86.
8. Gayacharan, Rani, U., Singh, S., Basandrai, A. K., Rathee, V. K., Tripathi, K., Singh, N., Dixit, G. P., Rana, J. C., Pandey, S., Kumar, A., & Singh, K.(2020). Identification of novel resistant sources for ascochyta blight (*Ascochyta rabiei*) in chickpea. PLoS One 15, e0240589. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240589
9. Kanuni, H. (2001). The yielding ability and adaptability of chickpea cultivars under rainfed conditions of Kurdistan. *Seed Plant*, 17, 1–11. (in Persian)
10. Kumar, S., Patel, N. R., Sarkar, A., & Dadhwal, V. K. (2013). Geospatial approach in assessing agro-climatic suitability of soybean in rainfed agro-ecosystem. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, *41*, 609–618. https://doi.org/10.1007/s12524-012-0249-9
11. Mahdavi, M., Salajegheh, A., Keshtkar, A. R., Fahmi, H., & Sharif, F. (2006). A study of the appropriate probability distributions for annual flow series, using L-moment method in arid and semi-arid regions. *Iranian Journal of Natural Resources Research*, *59*, 75–87.
12. Mansourian, S., Izadi Darbandi, E., RashedMohassel, M. H., Rastgoo, M., & Kanouni, H. (2017). Comparison of artificial neural networks and logistic regression as potential methods for predicting weed populations on dryland chickpea and winter wheat fields of Kurdistan province, *Iranian Journal of Crop Protection*, *93*, 43–51. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.015
13. Miller, P., McKay, K., Jenks, B., Riesselman, J., Neill, K., Buschena, D., & Bussan, A. (2002). Growing chickpeas in the northern great plains. MT200204 AG 3/2002. Montana Extension and Experiment Station Publications.
14. Sharma, A., Bharat, R., RaoK, K.V., Vittal, P. R., Ramakrishna, Y. S., & Amarasinghe, U. (2010). Estimating the potential of rainfed agriculture in India: Prospects for water productivity improvements. *Agricultural Water Management*, *97*, 23–30. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.002
15. Shikwambana, S., Malaza, N., & Shale, K. (2021). Impacts of rainfall and temperature changes on smallholder agriculture in the Limpopo province, South Africa. Water, 13, 2872.
16. Sobhani, B. (2005). Agro-climatic zoning of Ardabil province using satellite images in GIS environment. Dr. Diss. University of Tabriz 160.
17. Sobhani, B., Safarianzengir, V., & Tabatabaei, B. (2020). Agroecological zoning of sugar beet cultivation based on soil nutrients and climatic conditions (Case study: East Azarbayjan province). *Journal of Environmental Science and Technology*, *22*, 95–107. 10.22034/jest.2020.28698.3741
18. Soltani, F.R., Khooie, K., & Moghaddam Ghassemi-Golezani, M. (2001). A simulation study of chickpea crop response to limited irrigation in a semiarid environment. *Agricaltural Water Management*, *49*, 225–237.
19. Soltania, A., & Hajjarpoura, A., Vadez, V. (2016). Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield. *Iranian Journal of Field Crop Research*, *185*, 21–30.
20. Soltani, A.(2009). Mathematical modeling in crops. Jahade Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran. (In persian)
21. Soltani, A., Robertson, M. J., Mohammad-Nejad, Y., & Rahemi-Karizaki, A. (2006). Modeling chickpea growth and development: Leaf production and senescence. *Iranian Journal of Field Crop Research*, *99*, 14–23. (In persian) https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.02.005
22. Veisi, M., Zand, E., Moeini, M. M., & Bassiri, K. (2020). Review of research on weed management of chickpea in Iran: Challenges, strategies and perspectives. *Journal of Plant Protection Research*, *60*, 113–125. https://doi.org/10.24425/jppr.2020.132212
23. Zohary, D., Hopf, M., & Weiss, E. (2012). Domestication of plants in the old world - the origin and spread of domesticated plants in South-West Asia, Europe, and the Mediterranean Basin. *Oxford University Press*, 1–8. https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199549061.001.0001

Contents

Evaluation of Yield, Yield Components and Land Equivalent Ratio in replacement intercropping of Fennel (*Foeniculum vulgar* Mill.) with Mung Bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) **427**
Mohammad Hassan Hatefi Farajian, Alireza Koocheki and Mehdi Nassiri Mahallati

Investigation of Below-Ground Interspecific Interaction in the Intercropping Culture of Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) and Niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) **447**
Meisam Namdari, Rahmat Abbasi, Hemmatolaah Pirdashti and Faezeh Zaefarian

Effect of Aeration Time and Ratio on some Chemical Properties of Aerobic Tea of Cow Manure and Vermicompost **467**
Niloofar Montazami, Akram Halajnia, Reza Khorasani and Amir Fotovat

Investigation of Organic and Biofertilizer Sources and Harvesting Time on Quantitative and Qualitative Characteristics of Sage (*Salvia officinalis* L.) **481**
Abdollah Javanmard, Mohammad Reza Abasian, Ali Ostadi and Haniyeh Shabkhiz

Monitoring the Sustainability of Cropland of Boland Village in Sistan and Baluchistan Province, Iran using Emergy Approach **505**
Farshad Golshani, Mohammad Reza Asgharipour, Ahmad Ghanbari1[2] and Esmaeel Seyedabadi

Evaluation of Cow Manure and Different Nitrogen Sources on Yield and Nitrogen Use Efficiency in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) **527**
Roya Saeedi, Azam Seyedi, Bahareh Parsa Motlagh and Hossein Shekofteh

Effect of *Trichoderma longibrachiatum* and Chitosan Spraying on Morphophysiological Characteristics and Yield of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Deficit Irrigation Conditions **543**
Mahtab Miri, Hemmatollah Pirdashti, Arastoo Abbasian, Zahra Nouri Akandi and Mehranoosh Emamian Tabarestani

Thermal and Optical Response of Faba Bean (*Vicia faba* L.) to Summer Planting Date in Mazandaran Region **565**
Ramazan Sarparast

Study of Effective Factors for the Protection of Rice(Oryza sativa) Crop Diversity to Provide Security, Food, and Sustainable Households in Bandar Anzali, Guilan Province **585**
Somayeh Shirazi and Kouros Khoshbakht

Study of Environmental Sustainability of Tobacco (*Nicotiana tabacum*) Cultivation with Ecological Footprint Approach (Case Study: Flue–Cured Tobacco and Air–Cured in Golestan Province) **607**
Abdol Halim Kor, Karim Naderi Mahdei, Karwan Shanazi and Seyed Mohammad Jafar Esfahani

Agroclimatic Suitability Assessment for Rain Fed Cicer Based on Growth Period and Precipitation Indices in Kurdistan Province **625**
Hamid Cheraghi, Ahmad Ghanbari, Mohammad Reza Asgharipour, Javad Taei Samirmi and Ali Hesami

Journal of Agroecology (Quarterly)

Vol. 15 No. 3 Fall 2023

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

Editor in charge: Prof. Alireza Koocheki

Editor in chief: Prof. Parviz Rezvani Moghaddam

Internal manager: Dr. Surur Khorramdel

Editorial Board:

Dr. Goodarz Ahmadvand, Faculty of Agriculture, BU-Ali Sina University, Hamadan

Prof. Morteza Barmaki, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili

Prof. Mohammad Pessarakli, Research Professor, School of Plant Sciences, the University of Arizona

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 Fazabadi, Agricultural Research Institute of Khorasan Razavi

Prof. Saeed Zehtab Salmasi, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Dr. Hamid Shahandeh Research Soil Scientist, Soil and Crop Sciences Department, Texas A & M University

Prof. Mansour Ghorbanpour, Faculty of Agriculture, University of Arak

Prof. Alireza Koocheki, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Mohammad Galavi, Faculty of Agriculture, Zabol University

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. 15 No. 3

Fall 2023

Journal of Agroecology (Quarterly)

ISSN: 2008-7713

Contents

Evaluation of Yield, Yield Components and Land Equivalent Ratio in replacement intercropping of Fennel (*Foeniculum vulgar* Mill.) with Mung Bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) 427
Mohammad Hassan Hatefi Farajian, Alireza Koocheki and Mehdi Nassiri Mahallati

Investigation of Below-Ground Interspecific Interaction in the Intercropping Culture of Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) and Niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) 447
Meisam Namdari, Rahmat Abbasi, Hemmatollah Pirdashti and Faezeh Zaefarian

Effect of Aeration Time and Ratio on some Chemical Properties of Aerobic Tea of Cow Manure and Vermicompost 467
Niloofar Montazami, Akram Halajnia, Reza Khorasani and Amir Fotovat

Investigation of Organic and Biofertilizer Sources and Harvesting Time on Quantitative and Qualitative Characteristics of Sage (*Salvia officinalis* L.) 481
Abdollah Javanmard, Mohammad Reza Abasian, Ali Ostadi and Haniyeh Shabkhiz

Monitoring the Sustainability of Cropland of Boland Village in Sistan and Baluchistan Province, Iran using Emergy Approach 505
Farshad Golshani, Mohammad Reza Asgharipour, Ahmad Ghanbari[1] and Esmaeel Seyedabadi

Evaluation of Cow Manure and Different Nitrogen Sources on Yield and Nitrogen Use Efficiency in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) 527
Roya Saeedi, Azam Seyedi, Baharch Parsa Motlagh and Hossein Shekofteh

Effect of *Trichoderma longibrachiatum* and Chitosan Spraying on Morphophysiological Characteristics and Yield of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Deficit Irrigation Conditions 543
Mahtab Miri, Hemmatollah Pirdashti, Arastoo Abbasian, Zahra Nouri Akandi and Mehranoosh Emamian Tabarestani

Thermal and Optical Response of Faba Bean (*Vicia faba* L.) to Summer Planting Date in Mazandaran Region 565
Ramazan Sarparast

Study of Effective Factors for the Protection of Rice(Oryza sativa) Crop Diversity to Provide Security, Food, and Sustainable Households in Bandar Anzali, Guilan Province 585
Somayeh Shirazi and Kouros Khoshbakht

Study of Environmental Sustainability of Tobacco (Nicotiana tabacum) Cultivation with Ecological Footprint Approach (Case Study: Flue-Cured Tobacco and Air-Cured in Golestan Province) 607
Abdol Halim Kor, Karim Naderi Mahdei, Karwan Shamazi and Seyed Mohammad Jafar Esfahani

Agroclimatic Suitability Assessment for Rain Fed Cicer Based on Growth Period and Precipitation Indices in Kurdistan Province 625
Hamid Cheraghi, Ahmad Ghanbari, Mohammad Reza Asgharipour, Javad Taei Semiromi and Ali Hesami